



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GERENCIAMENTO DE
PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO
SOBRE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO**

FORTALEZA

2016

FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO SOBRE ESTRATÉGIAS
DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Infraestrutura de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- O47d Oliveira, Francisco Heber Lacerda de.
 Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação / Francisco Heber Lacerda de Oliveira. – 2016.
 179 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2016.
 Área de Concentração: Infraestrutura de Transportes.
 Orientação: Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior.
1. Transportes. 2. Pavimentos aeroportuários – Manutenção e reparos. 3. Custos. I. Título.

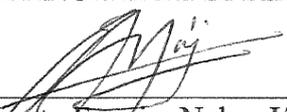
FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS COMO APOIO À TOMADA DE DECISÃO SOBRE ESTRATÉGIAS
DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

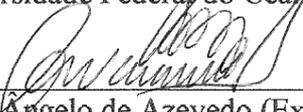
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes. Área de concentração: Infraestrutura de Transportes.

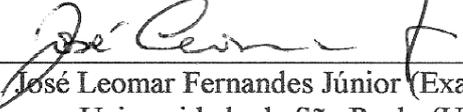
Aprovada em: 17/02/2016.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Ernesto Ferreira Nobre Júnior (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dra. Suelly Helena de Araújo Barroso (Examinadora Interna)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. Mário Angelo de Azevedo (Examinador Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)


Prof. Dr. José Leomar Fernandes Júnior (Examinador Externo)
Universidade de São Paulo (USP)


Prof. Ph.D. José Weissmann (Examinador Externo)
University of Texas at Austin (UT Austin)

Ao Senhor Nosso Deus, de bondade infinita. A
vós, Deus Pai Todo Poderoso, toda honra e
toda glória! Agora e para sempre, pelos
séculos sem fim!

AGRADECIMENTOS

A Deus todo poderoso, Criador do Universo, por ao longo de todos esses anos de vida e de estudos, conceder-me abundantemente o dom da vida, a serenidade, a coragem, a proteção e a disposição para concluir esta Tese, e por permitir que mais uma conquista fosse realizada em minha vida. Que seja para Sua honra e glória, pelos séculos sem fim.

Aos meus pais, Barboza e Fátima, e a minha irmã, Camila, por acreditarem em mais este sonho e me incentivarem continuamente a não desistir.

À minha esposa e fiel companheira há mais de uma década, Cielle, e ao meu primeiro filho, Arthur, nascido durante a redação final desta Tese, por me ajudarem nas madrugadas acordado com o *notebook* ligado no quarto, uma mão no berço e outra no teclado, por suportarem minha ausência e, muitas vezes, minha impaciência, principalmente nos momentos derradeiros deste trabalho. Os dois são a minha fonte constante de inspiração, de amor, de contemplação e, acima de tudo, a minha razão de viver.

Ao meu grande orientador desde a graduação, amigo, conselheiro, mestre e mentor na docência, Prof. Ernesto Nobre Júnior, pelo encaminhamento desta Tese e pela oportunidade de aprendizado constante na vida profissional e pessoal.

Aos meus alunos e alunas, da extensão, da graduação e da pós-graduação, de todas as instituições pelas quais já passei e ainda permaneço, pelas dezenas de orientações acadêmicas e (incontáveis) orientações pessoais, pela convivência e por me ensinarem muito mais do que penso ensinar. Obviamente não conseguiria escrever o nome de todos aqui, mas gostaria de mencionar sinceramente o Saulo Passos, o Lucas Cavalcante, o José Ciro Pinheiro Neto (para sempre na minha memória e coração) e o Ítalo Mota, por ainda estarem muito próximos a mim e me ajudarem sempre que preciso.

Aos professores e professoras do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes – Petran, da Universidade Federal do Ceará – UFC, que me acolheram em suas disciplinas, pelas exigências, e pela explícita dedicação na transmissão do vasto conhecimento que possuem. Sou imensamente grato desde o meu ingresso na UFC quando tive a oportunidade de conhecer alguns ainda na graduação e, a partir disso, ser motivado a seguir para a área de Transportes. Gostaria de homenagear a todos por meio da Profa. Suelly Helena. Na minha opinião, ela é O verdadeiro exemplo de profissional docente. Agradeço eternamente seus conselhos e ‘puxões de orelha’.

Ao amigo Lucius Albuquerque, da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), pela troca constante de informações, pela sua inteligência, perspicácia e entusiasmo.

Aos professores Marcos Porto, José Leomar, Anísio Meneses, Franklin Chaves e Liedi Bernucci, por serem referências nacionais em suas respectivas áreas de atuação e por se tornarem, também, um espelho para minha carreira acadêmica. Quando crescer, quero ser igual a vocês!

Às sempre amigas, “Professora” Sueli Ferreira e “Minha Jovem” Karlene Marinho, pelas diversas correções, críticas, considerações e observações feitas no texto deste trabalho, em vários momentos quando solicitado. Seus olhos de águias para encontrar as incoerências e sugerir os devidos ajustes tornaram-no bem melhor.

Aos meus amigos, amigas, colegas e familiares que sempre chegavam com a clássica pergunta: “Quando termina a Tese?! Está perto de terminar?! Já?! Cinco anos?! Isso tudo?! É quase outra faculdade”. Eles me motivaram a correr atrás do tempo perdido.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente para a materialização deste trabalho, de todos os órgãos e empresas consultados, aos quais não vou escrever os nomes, por falta de espaço e por, muito provavelmente, cometer a injustiça de esquecer alguém. Que o Senhor Deus lhes recompense abundantemente!

“Com efeito, qual de vós, querendo construir uma torre, não se senta primeiro e calcula os gastos, para ver se tem o suficiente para terminar? Caso contrário, ele vai lançar o alicerce e não será capaz de acabar.”

(Evangelho de Lucas, 14, 28 e 29)

RESUMO

Como medida de aumento do desempenho da segurança das operações de pousos e decolagens nos aeroportos brasileiros, este trabalho propõe um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários, em nível de rede, através de um procedimento de avaliação técnico-econômica, com base em parâmetros estruturais, funcionais e de aderência, visando o apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação. Para tanto, estudos sobre as definições e as características de textura superficial, condições funcionais e estruturais, com os respectivos parâmetros normativos vigentes e ensaios estabelecidos pelos organismos reguladores da aviação civil no Brasil foram observados. Características e padrões técnicos de outros países também foram descritos e serviram como fundamentação teórica deste trabalho. O Aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado em Fortaleza, Ceará, serviu como estudo para a aplicação dos cenários simulados no modelo proposto. Objetivando facilitar a indicação otimizada das estratégias de manutenção e reabilitação a partir das combinações das classificações das condições, um programa computacional foi desenvolvido, como sendo a ferramenta-modelo denominada Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA). Os resultados obtidos, com o auxílio desse programa, mostraram ser possível o planejamento e a execução adequados das técnicas, dos custos e da aplicação das estratégias de manutenção e reabilitação para incremento da segurança operacional de uma rede de aeroportos.

Palavras-chave: Estratégia. Manutenção. Custos. Pavimentos. Aeroportos.

ABSTRACT

As a measure to increase the operational safety performance at Brazilian airports, this work proposes a model of management of airport pavements, in network level, through a technical and economic assessment procedure, on the basis of structural, functional and grip parameters, aimed at supporting decision-making on maintenance and rehabilitation strategies. To this end, studies on the definitions and characteristics of surface texture, functional and structural conditions – with current regulations and testing parameters established by the regulatory bodies of civil aviation in Brazil were observed. Features and technical standards from other countries have also been described and served as theoretical basis of this work. Pinto Martins International Airport in Fortaleza, Ceará, served as a study for the application of simulated scenarios for the proposed model. The results gathered proved possible the planning and the proper implementation of techniques, costs and application of maintenance and rehabilitation strategies for increasing the safety of takeoffs and landings operations.

Keywords: Strategy. Maintenance. Costs. Pavements. Airports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo-resumo da metodologia da tese.....	25
Figura 2 – Fluxo geral de contribuição da tese.....	27
Figura 3 – Sistema de gerenciamento de pavimentos para os aeroportos brasileiros.....	34
Figura 4 – Fluxo de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários.	35
Figura 5 – Estrutura geral de um sistema de gestão de pavimentos aeroportuários.	36
Figura 6 – Distribuição das rodas e dos trens de pouso do Airbus A380.	38
Figura 7 – Camadas disponíveis no FAARFIELD.	45
Figura 8 – Inserção do conjunto de aeronaves.	46
Figura 9 – Otimização da classificação do PCI.....	51
Figura 10 – Ajuste da classificação do PCI.....	51
Figura 11 – Faixas de variação do Índice Internacional de Irregularidade (IRI).	53
Figura 12 – Princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta.....	54
Figura 13 – Exemplos de perfilômetros a laser.	55
Figura 14 – Critérios de aceitação de irregularidade pelo Boeing Bump Index.	58
Figura 15 – Execução do ensaio de mancha de areia para obtenção da macrotextura.	62
Figura 16 – Acúmulo de borracha em pista de pouso e decolagem.	73
Figura 17 – Remoção de borracha acumulada por hidrojateamento de alta pressão.....	73
Figura 18 – Equipamento Mu-Meter para medição de atrito.	74
Figura 19 – Equipamentos Grip Tester para medição de atrito.....	74
Figura 20 – Equipamento para retexturização do revestimento com microesferas de aço.	92
Figura 21 – Combinações das classificações das condições	96
Figura 22 – Detalhamento das combinações das classificações das condições.	97
Figura 23 – Tela inicial do SGPA.....	124
Figura 24 – Tela inicial do SGPA com destaque para a sua estrutura geral.	124
Figura 25 – Lista de aeroportos e pistas cadastrados no SGPA.	125
Figura 26 – Cadastro de aeroporto e pista(s) no SGPA.	125
Figura 27 – Nova lista de aeroportos e pistas cadastrados no SGPA.	126
Figura 28 – Aeroporto cadastrado sem pista(s) no SGPA.	126
Figura 29 – Adição de pistas e nova lista de aeroportos cadastrados no SGPA.	126
Figura 30 – Dados necessários a uma nova avaliação no SGPA.....	127
Figura 31 – Dados de campo obrigatório em uma nova avaliação no SGPA.	127
Figura 32 – Seleção do equipamento de medição do coeficiente de atrito no SGPA.	128

Figura 33 – Seleção da velocidade de medição do coeficiente de atrito no SGPA.....	128
Figura 34 – Descrição das estratégias e custos por unidade no SGPA.....	129
Figura 35 – Edição de custos por unidade das estratégias no SGPA.....	129
Figura 36 – Busca por avaliações cadastradas por período no SGPA.	130
Figura 37 – Exemplo de todo o histórico de avaliações existentes no SGPA.....	130
Figura 38 – Exemplo de histórico de avaliações inexistentes no SGPA.	131
Figura 39 – Exemplos de históricos de avaliações realizadas no SGPA.	131
Figura 40 – Cadastro do Aeroporto Internacional Pinto Martins e pista no SGPA.....	133
Figura 41 – Visão geral do cadastro de todos os parâmetros adequados no SGPA.	134
Figura 42 – Destaque do cadastro de todos os parâmetros adequados no SGPA.....	134
Figura 43 – Resultado da avaliação para todos os parâmetros adequados no SGPA.	135
Figura 44 – Indicação das possíveis soluções no SGPA.....	136
Figura 45 – Confirmação de avaliação realizada no SGPA.....	137
Figura 46 – Seleção do aeroporto, pista e período de avaliação no SGPA.....	137
Figura 47 – Resultado das avaliações existentes no período indicado no SGPA.....	138
Figura 48 – Resultado da avaliação selecionada no SGPA.....	138
Figura 49 – Cadastro de todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.	139
Figura 50 – Possíveis soluções para todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.....	139
Figura 51 – Custos das soluções para todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.	140
Figura 52 – Avaliação realizada com todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.....	140
Figura 53 – Cadastro dos parâmetros com ACN/PCN insatisfatório no SGPA.....	141
Figura 54 – Resultado da avaliação para ACN/PCN insatisfatórios no SGPA.....	141
Figura 55 – Avaliações cadastradas disponíveis em 31/12/2015 no SGPA.....	142
Figura 56 – Avaliações cadastradas para ACN/PCN insatisfatórios no SGPA.....	142
Figura 57 – Cadastro dos parâmetros para PCI degradado no SGPA.	143
Figura 58 – Resultado da avaliação para PCI degradado no SGPA.	143
Figura 59 – Resultado da avaliação para PCI insatisfatório no SGPA.	144
Figura 60 – Cadastro dos parâmetros para IRI insatisfatório no SGPA.	145
Figura 61 – Resultado da avaliação para IRI insatisfatório no SGPA.	145
Figura 62 – Cadastro dos parâmetros para P insatisfatório no SGPA.	146
Figura 63 – Resultado da avaliação para P insatisfatório no SGPA.....	146
Figura 64 – Resultado da avaliação para μ degradado no SGPA.	147
Figura 65 – Resultado da avaliação e possíveis soluções para μ insatisfatório no SGPA. ...	148
Figura 66 – Resultado da avaliação para μ insatisfatório no SGPA.....	148

Figura 67 – Possíveis soluções para ACN/PCN adequado no SGPA.....	149
Figura 68 – Resultado da avaliação para ACN/PCN adequado no SGPA.....	150
Figura 69 – Histórico das avaliações armazenadas no banco de dados do SGPA.	150
Figura 70 – Fluxo-resumo de contribuição da Tese.	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de resistência do subleito para pavimentos rígidos.....	42
Tabela 2 – Valores de resistência do subleito para pavimentos flexíveis ou mistos.	42
Tabela 3 – Valores e código de pressão de pneus.....	42
Tabela 4 – Vida útil dos pavimentos de acordo com o valor do CDF.	44
Tabela 5 – Base estabilizada rígidas e flexíveis.	45
Tabela 6 – Classificação do PCI.	50
Tabela 7 – Frequência de medição da irregularidade longitudinal.	56
Tabela 8 – Orientações baseadas no RCI para pistas de pouso e decolagem.....	59
Tabela 9 – Profundidade da macrotextura.....	63
Tabela 10 – Frequência das medições do coeficiente de atrito e macrotextura.....	66
Tabela 11 – Parâmetros de coeficientes de atrito por tipo de equipamento de medição.	68
Tabela 12 – Frequência das medições do coeficiente de atrito e macrotextura.....	69
Tabela 13 – Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição.	71
Tabela 14 – Frequência mínima de medições de atrito.....	71
Tabela 15 – Frequência mínima de medições de macrotextura.....	72
Tabela 16 – Frequência mínima de remoção do acúmulo de borracha.....	72
Tabela 17 – Frequência mínima das medições das condições estruturais.....	83
Tabela 18 – Frequência das medições das condições funcionais – defeitos no pavimento. ...	84
Tabela 19 – Frequência de medição da irregularidade longitudinal.	85
Tabela 20 – Resumo das frequências mínimas das medições das condições avaliadas.....	85
Tabela 21 – Resumo das estratégias de manutenção de Oliveira (2009).	86
Tabela 22 – Resumo das estratégias de manutenção e reabilitação.....	89
Tabela 23 – Custos das estratégias de manutenção e reabilitação.....	90
Tabela 24 – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.	98
Tabela 25 – Indicação dos custos médios das estratégias de M&R.....	117
Tabela 26 – Descrição dos casos e combinações analisados no SGPA.	132
Tabela 27 – Resumo dos casos analisados e custos simulados no SGPA.....	151

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHO	<i>American Association of States Highway Officials</i> (Associação Americana de Rodovias Estaduais Oficiais)
AASHTO	<i>American Association of States Highway and Transportation Officials</i> (Associação Americana de Rodovias Estaduais e Transportes Oficiais)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIP	<i>Aeronautical Information Publication</i> (Publicação de Informação Aeronáutica)
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ACN	<i>Aircraft Classification Number</i> (Número de Classificação de Aeronave)
APMS	<i>Airport Pavement Management System</i> (Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários)
ASTM	<i>American Society of Testing Materials</i> (Sociedade Americana para Testes e Materiais)
CAA	<i>Civil Aviation Authority</i> (Autoridade da Aviação Civil do Reino Unido) (Autoridade da Aviação Civil da Nova Zelândia)
CBR	<i>California Bearing Ratio</i> (Índice de Suporte Califórnia)
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CDF	<i>Cumulative Damage Factor</i> (Fator Acumulativo de Danos)
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CPA	Camada Porosa de Atrito
DAC	Departamento de Aviação Civil
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> (Administração Federal de Aviação – EUA)

FAARFIELD *Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*

IAC Instrução de Aviação Civil

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

IFI *International Friction Index*
(Índice Internacional de Atrito)

INFRAERO Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

MR Módulo de Resiliência

NOTAM *Notice to Air Men*
(Aviso aos Aeronavegantes)

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

PCN *Pavement Condition Number*
(Número de Classificação de Pavimento)

PMS *Pavement Management System*
(Sistema de Gerência de Pavimentos)

RWY *Runway*
(Pista de Pousos e de Decolagens)

SGP Sistema de Gerência de Pavimentos

SGPA Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários

SMA *Stone Matrix Asphalt*
(Matriz Pétreo Asfáltica)

TWY *Taxiway* (Pista de taxiamento)

USACE *United States Army Corps of Engineers*
(Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos)

USAF *United States of Air Force*
(Força Aérea dos Estados Unidos)

UFC Universidade Federal do Ceará

USP Universidade de São Paulo

VDC Valor Deduzido Corrigido

VDT Valor Deduzido Total

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa	19
1.2 Questões de pesquisa	22
1.3 Objetivo geral.....	23
1.3.1 Objetivos Específicos.....	23
1.4 Metodologia	24
1.5 Contribuição da tese	25
1.6 Estrutura da tese	28
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1 Pavimentos aeroportuários e os sistemas de gerenciamento.....	29
2.2 Condições estruturais.....	37
2.3 Condições funcionais.....	47
2.4 Condições de aderência	59
2.4.1 <i>Evolução dos requisitos normativos brasileiros de aderência</i>	66
2.5 Modelos de apoio à tomada de decisão	75
3. METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS DE BASE DO SISTEMA	82
3.1 Definição das frequências mínimas de levantamento das condições	82
3.2 Atualização das estratégias de manutenção e reabilitação (M&R)	86
3.3 Custos das estratégias de manutenção e reabilitação	90
4. ASSOCIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO	93
4.1 Parâmetros limites de classificação das condições.....	93
4.2 Combinações das classificações das condições	95
4.3 Proposição das estratégias de manutenção e reabilitação (M&R)	98
4.4 Indicação dos custos para as combinações das classificações das condições.....	117
5. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS PARA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM ...	123
5.1 A ferramenta computacional	123
5.2 Cenários de Simulação	132
5.2.1 <i>Cenários de simulação – Caso I: Todos os parâmetros adequados</i>	133
5.2.2 <i>Cenários de simulação – Caso II: Todos os parâmetros insatisfatórios</i>	139
5.2.3 <i>Cenários de simulação – Caso III: ACN/PCN insatisfatório, demais parâmetros adequados</i>	141

5.2.4	<i>Cenários de simulação – Caso IV: PCI degradado, demais parâmetros adequados.....</i>	142
5.2.5	<i>Cenários de simulação – Caso V: PCI insatisfatório, demais parâmetros adequados.....</i>	144
5.2.6	<i>Cenários de simulação – Caso VI: IRI insatisfatório, demais parâmetros adequados.....</i>	144
5.2.7	<i>Cenários de simulação – Caso VII: P insatisfatório, demais parâmetros adequados.....</i>	145
5.2.8	<i>Cenários de simulação – Caso VIII: μ degradado, demais parâmetros adequados.....</i>	147
5.2.9	<i>Cenários de simulação – Caso IX: μ insatisfatório, demais parâmetros adequados.....</i>	147
5.2.10	<i>Cenários de simulação – Caso X: ACN/PCN adequado, demais parâmetros insatisfatórios</i>	149
5.3	Considerações gerais sobre os cenários simulados no SGPA.....	150
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	154
6.1	Considerações gerais	154
6.2	Contribuições da abordagem proposta.....	155
6.3	Limitações do estudo	157
6.4	Proposições para estudos futuros	158
	REFERÊNCIAS.....	160
	ANEXO 1 – TABELA DE ACN	171
	ANEXO 2 – CÓDIGO DE REFERÊNCIA DE AERÓDROMOS E AERONAVES.....	175
	ANEXO 3 - MODELO DE FORMULÁRIO PARA LEVANTAMENTO DO PCI	177

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, o transporte aéreo mundial passou por grandes transformações e um importante desenvolvimento. Aeronaves com melhor desempenho e maior capacidade de transporte de passageiros e de cargas foram projetadas, construídas e postas em operação. Empresas aéreas nacionais e internacionais encerraram suas atividades, enquanto outras foram criadas com o objetivo de realizarem voos com baixo custo de operação e de proporcionarem a seus clientes viagens com baixa tarifa.

Em 2015, segundo dados da Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO, 2016), cerca de 3,5 bilhões de pessoas em todo o mundo, 6,4% a mais que em 2014, fizeram uso do avião para efetuarem seus deslocamentos. Já as decolagens totalizaram 34 milhões de operações, correspondendo a um acréscimo de 6,8% quando comparadas a 2014. A América Latina e o Caribe, depois do Oriente Médio, foram as regiões que apresentaram os maiores índices de crescimento em todo o mundo.

Segundo previsões baseadas no crescimento dos últimos anos, ICAO (2016) afirma que o número de passageiros transportados em 2030, em todo o mundo, será próximo de 6,4 bilhões e as operações de decolagem atingirão o número de 59 milhões.

As estatísticas da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2016) indicam que em 2015 mais de 117 milhões de passageiros (96,1 milhões domésticos e 21,3 milhões internacionais) embarcaram e desembarcaram pelos aeroportos brasileiros, através de, aproximadamente, 1,09 milhões de voos.

No período compreendido entre 2006 e 2015, no Brasil, houve um acréscimo de cerca de 64 milhões de passageiros transportados. Em 2006 foram registrados 54 milhões de passageiros e até final de 2015 o número alcançou cerca de 118 milhões de passageiros (ANAC, 2016), impulsionados pelas visíveis mudanças do cenário socioeconômico brasileiro, além das facilidades de compra de bilhetes proporcionadas por algumas empresas aéreas.

Muito embora nesse período de tempo (2006 a 2015), o crescimento de passageiros, em média, tenha atingido no Brasil a marca superior a 118%, o mesmo não se pode afirmar da infraestrutura aeroportuária brasileira, que não acompanhou o desenvolvimento das operações aéreas.

A grande maioria dos aeroportos brasileiros, com destaque para aqueles localizados nas regiões Norte e Nordeste, foram construídos na época da 2ª Guerra Mundial, com infraestruturas que serviam de bases de apoio às operações de combate norte-americanas. Com a criação da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), em

meados da década dos anos 1970, os aeroportos passaram por algumas reformas nos terminais de passageiros e nos complexos de pátios e pistas.

Melhorias significativas, como ampliações e construções de novos terminais em várias regiões do país, foram realizadas no final da década dos anos 1990, quando, a partir de então, registraram-se investimentos inexpressivos na construção de novos aeroportos ou na ampliação dos existentes. Assim, verifica-se nos dias atuais que a maioria dos aeroportos brasileiros apresentam uma defasagem considerável de suas capacidades operacionais, acumulada a partir do início dos anos 2000 até os dias atuais.

De tal modo, ao analisar o cenário presente, a perspectiva é de que ocorra, nos próximos anos, superação dos índices apresentados anteriormente. Para atendimento dessa demanda futura de modo satisfatório, é sabido que os aeroportos necessitarão de reformas, melhorias e ampliações capazes de atender, além dos passageiros, suas bagagens e cargas, as aeronaves que os transportam.

Todavia, o panorama nacional tende a, no médio ou longo prazo, ser transformado devido às primeiras concessões de aeroportos nacionais – São Gonçalo do Amarante/RN, Guarulhos/SP, Campinas/SP e Brasília/DF – à iniciativa privada, ocorridas a partir de 2012. Tal processo foi viabilizado pelo Governo Federal no sentido de agilizar a realização dos investimentos necessários à adequação da infraestrutura aeroportuária, da modernização dos espaços, promovendo melhorias no atendimento e nos níveis de qualidade dos serviços prestados aos usuários do transporte aéreo no País.

No entanto, as obras previstas na quase totalidade desses aeroportos somente contemplarão a ampliação dos terminais de passageiros e alguns pátios de estacionamento de aeronaves. As pistas de pouso e decolagem e de taxiamento, de modo geral, não serão ampliadas, ou não ocorrerão novas construções, pois os sítios aeroportuários, com os espaços físicos atuais, não dispõem de áreas suficientes para tal finalidade ou não foram planejados para tal situação. Dessa forma, é imprescindível que, no mínimo, as pistas existentes sejam conservadas, de modo a garantir o atendimento seguro e contínuo das operações.

Diante do exposto e da importância da disponibilidade efetiva dos aeroportos para o aumento do seu desempenho operacional, para o atendimento da demanda atual e futura e para o consequente desenvolvimento seguro do transporte aéreo nacional e internacional, verifica-se a necessidade de existir uma gestão racional da sua infraestrutura, sobretudo daquelas relacionadas diretamente com a movimentação das aeronaves em solo – pistas de pouso e decolagem e de taxiamento, pois estas são as suas primeiras facilidades de contato e podem ser consideradas como princípio de todas as operações aeroportuárias.

1.1 Justificativa

Os aeroportos destacam-se como importantes elementos do desenvolvimento urbano, regional e de integração nacional. No panorama internacional, cumprem papel relevante no receptivo de voos e, por consequência, de passageiros procedentes do exterior, tornando-se o portão de entrada e o primeiro contato do estrangeiro com o país.

Segundo Maciel (2010), os aeroportos são espaços responsáveis, em boa parte, pelas inúmeras conexões aceleradas, típicas da sociedade contemporânea, com papel cada vez mais importante nas economias das cidades, além de exercerem forte impacto sobre suas estruturas urbanas.

Nos últimos anos, muito se tem divulgado, especialmente pelos órgãos de imprensa (FOLHA DE SÃO PAULO, 2010; VEJA, 2010; ISTO É DINHEIRO, 2011) que as crises enfrentadas pelo transporte aéreo brasileiro são decorrentes da infraestrutura aeroportuária, que está, em sua maioria, aquém das reais necessidades. Em complemento, essas mesmas fontes afirmam que, se a situação permanecer como está, certamente o Brasil comprometeria a realização dos eventos esportivos mundiais previstos de ocorrerem em 2014 (Copa do Mundo da FIFA) e em 2016 (Jogos Olímpicos), bem como, no curto e médio prazo prejudicará o deslocamento da população pelas mais diversas regiões do país.

As informações anteriores são confirmadas pelo Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil, realizado por McKinsey (2010), que afirma que a oferta de infraestrutura aeroportuária brasileira não cresceu no mesmo ritmo que a demanda: dos 20 principais aeroportos nacionais analisados pelo estudo em pauta, 13 apresentam deficiências significativas que podem comprometer suas operações num futuro próximo.

Especificamente para a Copa do Mundo da FIFA, realizada nos meses de junho e julho de 2014, em 12 cidades brasileiras, verificaram-se algumas medidas contingenciais adotadas pelos operadores de aeródromo. Essas medidas contemplaram, em geral, a construção de terminais de passageiros com estruturas provisórias e a alocação de aeronaves, sobretudo da aviação geral internacional, nos pátios com as mais diversas configurações de estacionamento, na tentativa de atender a toda a demanda operacional. Tais medidas foram executadas desse modo, em virtude de poucos aeroportos disporem de infraestrutura capaz de atender, em condições normais, a demanda prevista pelo evento.

É importante mencionar que, muito embora alguns aeroportos dessas cidades tivessem concedidos à iniciativa privada, não houve tempo suficiente para que as melhorias da infraestrutura fossem concluídas e atendessem de modo satisfatório a demanda do evento.

O efetivo funcionamento de um aeroporto depende da adequada condição da sua infraestrutura, em especial daquela relacionada diretamente à movimentação das aeronaves em solo. A ausência dessas infraestruturas ou a sua existência precária e ineficiente tornam inviáveis, e mesmo inseguras, as operações das aeronaves. Por consequência, não haverá voos e passageiros, e toda a gestão de um aeroporto perde seu sentido (OLIVEIRA, 2009).

Destaca-se, então, que dentre as facilidades componentes de uma infraestrutura aeroportuária, as pistas de pouso e decolagem exercem clara contribuição no desempenho das operações, uma vez que não se vislumbra qualquer atividade no aeroporto que envolva direta ou indiretamente as aeronaves, sem o seu devido funcionamento. Os aeroportos atuam, na visão de Tadeu (2010), como pontos críticos para a produção e a distribuição céleres de mercadorias e serviços, assumindo um papel protagonista no desenvolvimento das cidades.

A participação do transporte aéreo na matriz de cargas brasileira ainda é pouco expressiva em comparação com outros modais, e representa, apenas, cerca de 0,4% das cargas transportadas. No segmento do transporte de passageiros, entretanto, esse número é cerca de 65%, segundo informações da CNT (2015) e ANAC (2016).

Para suportar essa movimentação de cargas e de passageiros, é preciso dispor de uma infraestrutura aeroportuária capaz de permitir a execução segura de todas as operações necessárias ao atendimento adequado das aeronaves e seus ocupantes, pois os incidentes ou acidentes aéreos podem proporcionar perdas materiais e humanas irre recuperáveis

No quesito segurança das operações, CENIPA (2015) relata que no ano de 2014 dos incidentes ou acidentes nacionais que envolveram aeronaves durante suas operações de pousos e decolagens, 15,1% ocorreram na fase de pouso, 6,7% na fase de corrida após o pouso e 18,4% na decolagem. Para contribuir na prevenção da ocorrência desses acidentes, a solução é investir na manutenção da infraestrutura dos aeroportos, especialmente nas pistas de pouso e decolagem, onde foram registrados dois dos três maiores índices de acidentes.

Outro ponto relevante a considerar, diz respeito à deterioração dessas infraestruturas ao longo do tempo. Ocasionalmente pelas condições ambientais e climáticas, pela ação do tempo e do tráfego, pela ausência de uma manutenção adequada, ou pela combinação dessas condições, a degradação dos pavimentos aeroportuários é um dos fatores contribuintes para as ocorrências de incidentes ou acidentes envolvendo aeronaves.

Dessa forma, é imprescindível que seja definida uma metodologia que possa ser efetivamente implantada numa rede de aeroportos para avaliar os pavimentos das pistas de pouso e decolagem e, a partir dessa avaliação, integrar atividades de manutenção em momentos oportunos, evitando o desgaste prematuro ou até mesmo o colapso dessas

infraestruturas. Além do caráter técnico, é recomendável a realização de uma avaliação econômica das estratégias de manutenção e reabilitação adotadas, de forma a se verificar qual delas apresenta melhor viabilidade técnico-econômica.

Metodologias de avaliação de pavimentos baseadas na identificação de defeitos, na textura de superfície, tais como a macrotextura e o coeficiente de atrito, associadas às suas condições estruturais e funcionais, respectivamente, através do Número de Condição do Pavimento e do Índice de Condição do Pavimento, por exemplo, podem disponibilizar informações aceitáveis para permitir e garantir operações de pouso e de decolagem com a segurança necessária. Todavia, existem dificuldades dessa associação à realidade brasileira, de forma permanente e contínua, em virtude de limitações operacionais e de infraestrutura na maioria dos aeroportos, os quais possuem uma única pista de pouso e decolagem, e não podem paralisar suas operações para realização dessas atividades periodicamente.

Diversos organismos internacionais, como a *Federal Aviation Administration* (FAA), e nacionais, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a partir de diretrizes da Organização da Aviação Civil Internacional – *International Civil Aviation Organization* (ICAO), utilizam os parâmetros mencionados anteriormente para identificar as condições funcionais e de aderência das superfícies, bem como da sua respectiva estrutura, para fins de segurança das operações e controle das pistas de pouso e decolagem.

Assim, a avaliação das condições das pistas e a sua conseqüente manutenção, com base nessas avaliações, deve ser tarefa prioritária de um operador aeroportuário, o qual precisa se conscientizar que a gestão efetiva dos pavimentos é uma de suas maiores prioridades. Isso porque essas infraestruturas representam uma grande parcela dos recursos materiais e, principalmente, financeiros, alocados ao longo de sua vida útil, sendo importante para o funcionamento de um complexo aeroportuário.

Segundo a FAA (2006), grande parte dos operadores de aeroportos toma decisões acerca dos serviços a serem realizados nos pavimentos baseados apenas na necessidade imediata ou na experiência, sem, no entanto, considerar informações fundamentadas na situação real das condições daqueles pavimentos.

Essa abordagem não permite avaliar o custo efetivo das estratégias de manutenção, conservação, restauração e reabilitação, o que conduz a um ineficiente uso dos fundos disponibilizados. Para isso, verifica-se a necessidade de elaboração de estudos e formulação de metodologias racionais para apoio à tomada de decisão como uma ferramenta de controle e auxílio para se alocar técnica e economicamente os recursos disponíveis, oferecendo segurança e operacionalidade às pistas.

Tal ferramenta torna-se imprescindível à gestão da infraestrutura aeroportuária, especialmente quando se dispõem de limitados recursos financeiros públicos. Da mesma forma, as empresas aéreas, que fazem uso das pistas e dos pátios aeroportuários, através de suas aeronaves, procuram encontrar pavimentos resistentes e bem mantidos para que possam efetuar suas operações sem prejuízos e, principalmente, de forma segura.

Ressalte-se que os sistemas de apoio à tomada de decisão podem ser inseridos, desenvolvidos e implantados por meio de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), pois, segundo Hudson, Haas e Uddin (1997), estes têm o objetivo de estabelecer estratégias de conservação e de restauração, no caso dos aeroportos, destinados à segurança das operações de pousos e decolagens, o principal foco da gestão aeroportuária.

A ausência desse tipo de ferramenta não permite o adequado acompanhamento das condições dos pavimentos, além de prejudicar o planejamento e o processo de tomada de decisão e, por consequência, proporcionar uma inadequada administração dos recursos humanos, materiais e, sobretudo, financeiros a serem disponibilizados.

No contexto da deficiência de aplicação de atividades de gerenciamento dos pavimentos aeroportuários, ao longo dos últimos anos no Brasil, constata-se em diversas pesquisas, com destaque para Oliveira (2009), que o Aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado em Fortaleza, estado do Ceará, é um dos aeroportos brasileiros que carece do desenvolvimento e da aplicação de tais atividades, em face da sua importância para o transporte aéreo regional, nacional e internacional. Assim sendo, esta Tese utilizará a pista de pouso e decolagem do mencionado aeroporto como uma das aplicações para a condução da pesquisa.

1.2 Questões de pesquisa

Diante das considerações anteriores, surgem os seguintes questionamentos para esta pesquisa:

- a) quais os principais impactos e contribuições para a segurança das operações aeroportuárias, diante do desenvolvimento do transporte aéreo regional, nacional e internacional?;
- b) qual a importância da implantação de um sistema de gerenciamento de pavimentos no desempenho de uma infraestrutura aeroportuária?;

- c) quais os resultados esperados pela implantação de um sistema automatizado de gerenciamento de pavimentos aeroportuários no contexto da segurança das operações de pousos e decolagens e da movimentação das aeronaves em solo?
- d) quais decisões técnico-econômicas podem ser tomadas de modo racional com o auxílio de um sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários baseado em parâmetros estruturais, funcionais e de aderência das pistas?
- e) que soluções de manutenção e reabilitação podem ser propostas para uma rede de pavimentos aeroportuários de modo a manter, conservar e reabilitar sua infraestrutura e garantir a segurança das operações de pousos e decolagens?

1.3 Objetivo geral

O objetivo geral desta Tese é desenvolver um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários, em nível de rede, através de um procedimento de avaliação técnico-econômica, com base em parâmetros estruturais, funcionais e de aderência, visando o apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação a serem implementadas em pistas de pouso e decolagem, para incremento da segurança operacional.

1.3.1 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos podem ser descritos os seguintes:

- a) descrever as funcionalidades dos principais equipamentos e facilidades componentes de uma infraestrutura aeroportuária, com ênfase para as pistas de pouso e decolagem;
- b) levantar o estado da arte do gerenciamento de pavimentos aeroportuários, evidenciando os parâmetros técnicos e de segurança operacional;
- c) compreender os principais aspectos relacionados aos requisitos de derrapagem, à textura superficial e às condições estrutural e funcional dos pavimentos, e verificar sua influência na segurança das operações aeroportuárias;
- d) demonstrar a importância dos sistemas de apoio à tomada de decisão para o desempenho operacional da infraestrutura aeroportuária;
- e) analisar o impacto técnico-econômico e de segurança operacional da aplicação de estratégias de manutenção e reabilitação nas pistas de pouso e decolagem.

1.4 Metodologia

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica de literaturas que abordam os aspectos técnicos do gerenciamento de pavimentos, com foco aeroportuário, publicadas por autores de consagradas universidades e organizações nacionais e internacionais, observando suas práticas e conferindo as metodologias aplicadas. Nesse contexto, também se procurou fundamentar a pesquisa através de procedimentos atuais de análises técnicas e econômicas de projetos de manutenção e reabilitação de pavimentos aeroportuários.

Foi realizado um estudo sobre as definições e as características de aderência pneu-pavimento através da textura superficial – macrotextura e coeficiente de atrito –, além das condições funcionais – irregularidade longitudinal e identificação de defeitos – e estruturais – números de classificação dos pavimentos e das aeronaves –, com os respectivos requisitos normativos e ensaios estabelecidos pelos órgãos reguladores da aviação civil no Brasil, especificamente a ANAC, e em outros países, a exemplo dos Estados Unidos, Canadá, Reino Unido e Nova Zelândia, com ênfase nas recomendações da ICAO.

Como forma de ser garantida uma padronização das metodologias de obtenção dos dados necessários (a saber: macrotextura, coeficiente de atrito, índice internacional de irregularidade, índice de condição do pavimento e número de classificação do pavimento e das aeronaves), bem com a inserção destes no banco de dados do sistema de gerenciamento de pavimentos desenvolvido, foram revisadas e implementadas frequências mínimas para os levantamentos desses parâmetros.

Em complemento à padronização anterior, as estratégias de manutenção para pavimentos aeroportuários descritas por Oliveira (2009) foram estudadas e atualizadas de modo a atender as alterações da legislação nacional e internacional dos últimos cinco anos. Com o mesmo intuito, para uma melhor análise do cenário econômico, foram definidos os respectivos custos unitários médios dos serviços constantes nas referidas e já atualizadas estratégias de manutenção e reabilitação.

As estratégias mencionadas anteriormente foram associadas a partir do estabelecimento racional de parâmetros limites de classificação das condições: para cada um desses limites adotaram-se três categorias: “Adequado”, “Degradado” e “Insatisfatório”. Na sequência das análises, foram determinadas 72 combinações das classificações das condições (aderência, funcionais e estruturais) para as quais foram definidas, sob o critério técnico e econômico, diversas soluções de estratégias de manutenção e reabilitação, com as respectivas indicações dos custos para cada uma das combinações.

Objetivando otimizar a visualização das estratégias de manutenção e reabilitação, e, por consequência, facilitar o processo de tomada de decisão, um *software* foi desenvolvido, tornando-se a ferramenta-modelo do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) proposto nesta Tese, e um total de dez diferentes cenários foram simulados no *software*, considerando utilizar a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional Pinto Martins.

Para o resumo da metodologia, tem-se o que se apresenta na Figura 1.

Figura 1– Fluxo-resumo da metodologia da tese



1.5 Contribuição da tese

O cenário socioeconômico atual e o futuro, em quase todas as regiões do mundo, principalmente dos países emergentes, indica que o desenvolvimento do transporte aéreo necessita (e necessitará) de melhorias e um crescimento contínuo da infraestrutura aeroportuária, esta composta dos terminais de passageiros, pátios e pistas de taxiamento e de pouso e decolagem, capaz de oferecer serviços condizentes com as respectivas demandas, com destaque para aquelas diretamente relacionadas com as aeronaves em solo.

Nesse sentido, as pistas de pouso e decolagem são elementos da infraestrutura aeroportuária que devem ser mantidas sob os aspectos de segurança operacional, haja vista serem o primeiro contato das aeronaves com o solo, contato este proporcionado pelas condições de aderência pneu-pavimento representadas, essencialmente, pela macrotextura e pelo coeficiente de atrito. Assim, é compulsório por parte dos operadores de aeródromo o cumprimento da regulação específica existente através das práticas de avaliações adequadas.

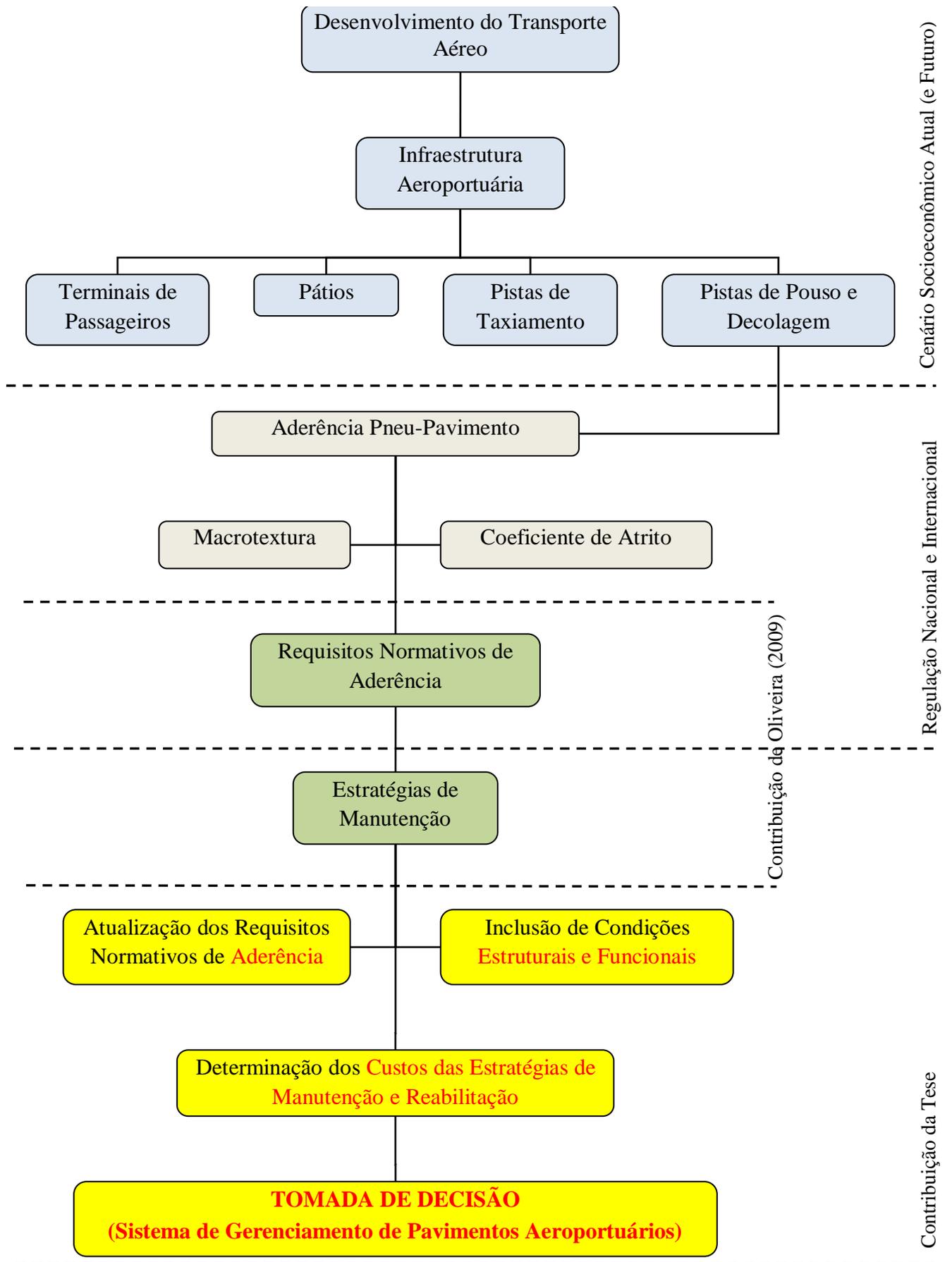
Essas avaliações devem ser controladas para garantir que cada elemento ou recurso a ser inspecionado seja cuidadosamente verificado e que seja realizada a identificação de todas as áreas com problemas e, dessa forma, sejam tomadas as decisões mais adequadas sobre as medidas preventivas ou corretivas a serem aplicadas. Um programa de manutenção deve contemplar e prever o acompanhamento adequado dessas inspeções para garantir que os trabalhos sejam rapidamente executados e registrados em um banco de dados confiável, para servir como subsídio em decisões futuras. Muito embora, no que se refere às atividades de manutenção, possam existir variações de complexidade de aeroporto para aeroporto, as técnicas gerais de manutenção e reabilitação são semelhantes, independentemente do tamanho ou do desenvolvimento da infraestrutura aeroportuária.

A associação dos aspectos citados anteriormente com as condições de aderência foi apresentada por Oliveira (2009) em forma de estratégias de manutenção que auxiliassem os operadores de aeródromo, bem como a autoridade aeronáutica, no sentido de promover e acompanhar ações preventivas e corretivas nas pistas de pouso e decolagem, sempre com fundamento na regulação nacional e internacional, expedidas pela ANAC e pela ICAO. Contudo, o trabalho de Oliveira (2009) não contemplou aspectos relacionados às condições estruturais e funcionais, não exigidos à época, tampouco as análises dos custos envolvidos.

Assim, diante da importância dos aspectos de segurança das operações, por conta, sobretudo, das ocorrências de incidentes ou acidentes envolvendo as aeronaves, e como forma de continuidade e contribuição aos estudos iniciados por Oliveira (2009), esta Tese procura desenvolver um procedimento de avaliação visando uma melhor tomada de decisão sobre as estratégias de manutenção e reabilitação a serem implementadas em pistas de pouso e decolagem. Desse modo, espera-se fornecer o modo mais eficaz de se obter o retorno esperado, sendo uma base consistente para a alocação dos recursos, sobretudo materiais, humanos e financeiros, para o desenvolvimento da segurança operacional aeroportuária.

Na Figura 2 mostra-se um fluxo com as principais contribuições desta Tese. Inicia-se com a apresentação do cenário socioeconômico atual (e futuro), os requisitos normativos da regulação nacional e internacional e a contribuição de Oliveira (2009), sobre as estratégias de manutenção com fundamento, exclusivamente, na associação dos parâmetros de aderência vigentes à época. Na sequência, em destaque amarelo, ressaltam-se os aspectos mais inovadores dessas contribuições, com ênfase para a tomada de decisão, incorporada a um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários, fundamentada na associação dos requisitos normativos de aderência, atualizados conforme legislação vigente, incluindo os aspectos funcionais e estruturais do pavimento.

Figura 2 – Fluxo geral de contribuição da tese.



1.6 Estrutura da tese

Esta Tese de Doutorado está dividida neste capítulo introdutório e em mais cinco capítulos que se apresentam, sucintamente, em seguida. O capítulo 2 compreende a revisão bibliográfica que proporcionará fundamentação teórica à pesquisa, apresentando as condições da infraestrutura das pistas de pouso e decolagem, ressaltando os principais parâmetros característicos das estruturas, da funcionalidade e da aderência, conforme requisitos normativos vigentes, associando-os aos aspectos de gerenciamento de pavimentos, com foco aeroportuário. No capítulo 3, apresenta-se a metodologia de levantamento para a obtenção dos dados de entrada referentes às condições estruturais, funcionais e de aderência, além dos custos associados aos serviços de manutenção e reabilitação (M&R), destinados ao modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários a ser utilizado para suporte à análise de viabilidade técnico-econômica e à tomada de decisão, cujas associações diversas serão descritas no capítulo 4, e simuladas no capítulo 5 através de alguns cenários propostos, com apresentação e discussão dos respectivos resultados. No capítulo 6, por fim, apresentam-se as considerações finais da pesquisa, com recomendações de continuidade através de proposição de estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta revisão bibliográfica apresentam-se e discutem-se os principais aspectos relacionados às condições estruturais, funcionais e de aderência dos pavimentos aeroportuários, como importantes elementos componentes de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários. Para isso, obras de diversos autores foram consultadas, buscando-se a fundamentação nas principais legislações nacionais e internacionais de autoridades da aviação civil, sobretudo, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), do Brasil, a *Federal Aviation Administration* (FAA), dos Estados Unidos, a *Civil Aviation Authority* (CAA), do Reino Unido, dentre outras, tendo origem nos manuais, normas e procedimentos expedidos pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO).

2.1 Pavimentos aeroportuários e os sistemas de gerenciamento

No contexto das operações das aeronaves em solo, os pavimentos inserem-se como o principal componente da infraestrutura aeroportuária, uma vez que proporcionam o suporte necessário à aeronave propriamente dita, bem como aos seus equipamentos de apoio.

Para efeito de padronização das definições utilizadas nos seus regulamentos e na indicação de procedimentos a serem observados na operação, na segurança, na manutenção e na resposta às emergências aeroportuárias, a ANAC (2012a), seguindo as aplicações da ICAO (2004), divide o aeródromo em quatro áreas distintas, porém complementares:

- a) manobras: utilizada para decolagem, pouso e taxiamento de aeronaves, excluindo-se o pátio de aeronaves;
- b) movimento: utilizada para decolagem, pouso e taxiamento de aeronaves, consistindo na soma da área de manobras e do pátio de aeronaves, este sendo a área destinada à acomodação de aeronaves para fins de embarque, desembarque de passageiros, carregamento e descarregamento de bagagens e cargas, correios, abastecimento e reabastecimento de combustível, estacionamento e manutenção;
- c) operacional: conjunto formado pela área de movimento, terrenos e edificações adjacentes, ou parte delas, cujo acesso é controlado. Essa área é também denominada ‘Lado Ar’;
- d) pavimentada: composta de pavimento com revestimento à base de cimento asfáltico, cimento Portland ou pavimento intertravado.

Distintas áreas pavimentadas, com diferentes objetivos de utilização, são encontradas em um aeroporto. Mallich e El-Korchi (2009) apresentam, essencialmente, três diferentes áreas: pistas de pouso e decolagem, pistas de taxiamento, que permitem a ligação e o deslocamento das aeronaves entre as pistas de pouso e decolagem aos pátios, e os pátios de estacionamento e operações de carregamento e descarregamento de aeronaves.

Na visão de FAA (2009a), os pavimentos aeroportuários são construídos para fornecer suporte adequado às cargas impostas pelas aeronaves e para produzir uma superfície estável, suave ao rolamento e livre de detritos ou outras partículas que possam ser captadas pelas hélices ou turbinas. Para cumprir satisfatoriamente a esses requisitos, o pavimento deve ser de tal qualidade e espessura que não falhará sob a ação da carga aplicada e possuir estabilidade suficiente para suportar, sem danos, a ação abrasiva do tráfego e as condições meteorológicas adversas. Para produzir tais pavimentos, requer-se uma coordenação de fatores de projeto, construção e inspeção, para assegurar a melhor combinação possível de materiais e recursos disponíveis e um alto padrão de acabamento.

Alinhada a essa visão, assim como de ICAO (2004), os principais requisitos de projeto e operação para pavimentos de aeroportos, na opinião de Thom (2010), são aqueles relacionados a limitar a deformação, a garantir uma adequada resistência à derrapagem, a evitar fechamentos futuros dos aeroportos, a resistir ao derramamento de combustíveis e óleos provenientes dos motores das aeronaves e a evitar os danos às aeronaves e seus equipamentos provocados por objetos estranhos (oriundos do próprio pavimento, ocasionados por desgastes e deteriorações diversas).

Percebe-se nas características anteriores, mesmo que não diretamente citadas, a relação dos requisitos de projeto com as condições estruturais (quando é referenciada a questão da deformação e do suporte adequado às cargas impostas), de aderência (resistência à derrapagem) e funcionais (conforto/suavidade ao rolamento).

Esses requisitos e condições, dentre outros, são essenciais à garantia da segurança operacional nos aeroportos, independentemente do tamanho, da estrutura e da complexidade de funcionamento. O desafio dos operadores de aeródromos nos dias atuais, portanto, é fazer cumpri-los de modo integrado e seguindo os parâmetros normativos vigentes.

É importante mencionar, nessa linha de raciocínio, que a gestão dos pavimentos aeroportuários deve estar entre as tarefas prioritárias dos operadores de aeródromos. Todavia, nem sempre essa gestão e as consequentes decisões tomadas ocorrem fundamentadas em um conhecimento mais específico sobre o assunto.

ANAC (2012a) menciona que o operador do aeródromo é responsável por estabelecer e documentar os requisitos e procedimentos de monitoramento e avaliação dos pavimentos baseados em sistema de gerenciamento de pavimentos, objetivando manter as condições estruturais e funcionais, além dos requisitos estabelecidos nas suas recomendações.

Na opinião de Oliver, Speir e Rada (1998), historicamente, os responsáveis pelos aeroportos tendem a tomar suas decisões sobre as atividades de manutenção dos pavimentos baseadas unicamente nas experiências do corpo técnico de engenheiros e equipes de manutenção. Essa abordagem não inclui a avaliação do custo-benefício das estratégias de manutenção, o que resulta num ineficiente uso dos recursos disponibilizados.

Fonseca (2001) afirma que os sistemas de gerenciamento de pavimentos são uma valiosa ferramenta para auxiliar na avaliação e análise de uma rede de pavimentos, apesar da experiência mostrar que a implementação desses sistemas em diversas agências responsáveis, ao mesmo tempo, por um conjunto de aeroportos, tenha encontrado várias dificuldades e deficiências, devido principalmente a sua concepção.

Conceber e operar um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários que atenda às diversas necessidades de uma ampla quantidade de usuários, tais como empresas aéreas, operadores de aeródromos e agências reguladoras, na opinião de Broten e Wade (2004), é um grande desafio, mas que se planejado detalhadamente durante as fases iniciais do seu desenvolvimento, será bem-sucedido.

Nesse sentido, desde que adequadamente concebidos e incorporados à rotina de operação e manutenção do complexo de pátios e pistas aeroportuários, os Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários surgem como instrumentos de análise e auxílio ao processo de tomada de decisão e de gestão dessa infraestrutura imprescindível ao funcionamento dos aeroportos.

Assim, Oliver, Speir e Rada (1998) confirmam que o gerenciamento dos pavimentos de um aeroporto é um campo crítico das operações e da segurança aeroportuárias nas quais os Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos são ferramentas essenciais. Um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos, para Broten e Zimmerman (1998), é uma ferramenta que pode ajudar uma agência de aviação (ou um operador de aeródromo) de maneira mais eficiente na utilização dos limitados fundos de manutenção e reconstrução dos pavimentos aeroportuários.

Os Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários, para Green e Scherling (1994), fornecem uma ferramenta importante que interliga diversas necessidades de suporte financeiro dos aeroportos diretamente com fontes de informações confiáveis,

principalmente, quando envolve a alocação dos limitados recursos com as ilimitadas necessidades aparentes.

Verifica-se que não há diferenças significativas nas definições e empregos dos Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (em inglês, *Airport Pavement Management Systems - APMS*). Independente do campo de aplicação, se em rodovias ou em aeroportos, é notório que os sistemas de gerenciamento de pavimentos oferecem inúmeros benefícios aos seus usuários, principalmente aos que tomam decisões, conforme pode ser comprovado, dentre outras, nas pesquisas de Yoder e Witczak (1975), Haas e Hudson (1978), AASHTO (1985), Paterson e Robinson (1992), Huang (1993), Haas, Hudson e Zaniewski (1994), ICAO (1997), Haas (2001), FAA (2006) e DNIT (2011).

Para Fonseca (2003), os esforços de implantação dos sistemas na década dos anos 80 envolveram a realização de várias atividades que consistiram, essencialmente, em análises das condições funcionais e estruturais dos pavimentos. A procura pela obtenção de dados mais abrangentes levou à realização de levantamentos e de medições de rugosidade, de atrito e de deflexões. A necessidade de fundos para as atividades de conservação e de restauração induziu a aquisição de *softwares* desenvolvidos pelas agências rodoviárias ou aeroportuárias.

Na década dos anos 90, ainda segundo Fonseca (2003), os dados obtidos tornaram-se matéria de reflexão para as equipes técnicas. A tecnologia adotada, em muitas ocasiões, possuía um nível operacional que não era viável aos mercados locais, sobretudo nos países em desenvolvimento.

Na opinião de Macedo (2005), um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários apresenta-se como uma das formas de atuação mais eficazes dentro de um programa de manutenção de pavimentos, pois garante serventia e segurança mínima às condições operacionais do complexo aeroportuário, envolvendo seus pátios e pistas.

No cenário aeroportuário, estudos dos operadores aeroportuários, das agências reguladoras e das autoridades aeronáuticas abordaram o assunto, prioritariamente, com foco na gestão racional dos insuficientes recursos orçamentários disponibilizados.

Além dessa limitação, esses recursos orçamentários a serem disponibilizados, independentes se administrados por um operador público ou privado, necessitam que sejam bem aplicados, haja vista o retorno que deve ser dado à sociedade que, indiretamente, fez esse investimento através dos impostos, das taxas ou das tarifas aeroportuárias. Dessa forma, é necessário prevê as condições existentes e futuras de uma rede de pavimentos para que se possa ter um maior controle sobre o dinheiro a investir, e assim obter uma base confiável para a alocação desses recursos.

Desse modo, torna-se imprescindível que o operador do aeródromo disponha de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários que o auxilie no processo de tomada de decisões, de forma a prover, manter e operar com segurança os pavimentos aeroportuários, dentro de padrões internacionais de operação e de segurança.

De acordo com o Gouvernement du Canada (2014), o objetivo básico de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários é alcançar o melhor valor possível para os recursos públicos disponíveis e proporcionar um transporte confortável, eficiente, econômico e, principalmente, seguro aos seus usuários.

As atividades de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários, para o Gouvernement du Canada (2014), são praticamente as mesmas apresentadas por Haas e Hudson (1978) e ICAO (1997). A diferença está na interação que as atividades de ciclo de vida do pavimento, de responsabilidade dos operadores de aeródromo, representadas por planejamento, programação, projeto, construção, operação, avaliação, manutenção e outras necessidades, possuem com o suporte técnico, compreendido pelas normas e procedimentos. Tudo isso amparado por um consistente banco de dados.

Uma vez construído, as operações das aeronaves começarão a condicionar as características da superfície dos pavimentos que devem ser avaliados regularmente para assegurar as condições de operações e de segurança adequados. Os resultados das atividades de avaliação contribuem positivamente para os programas de conservação e de restauração.

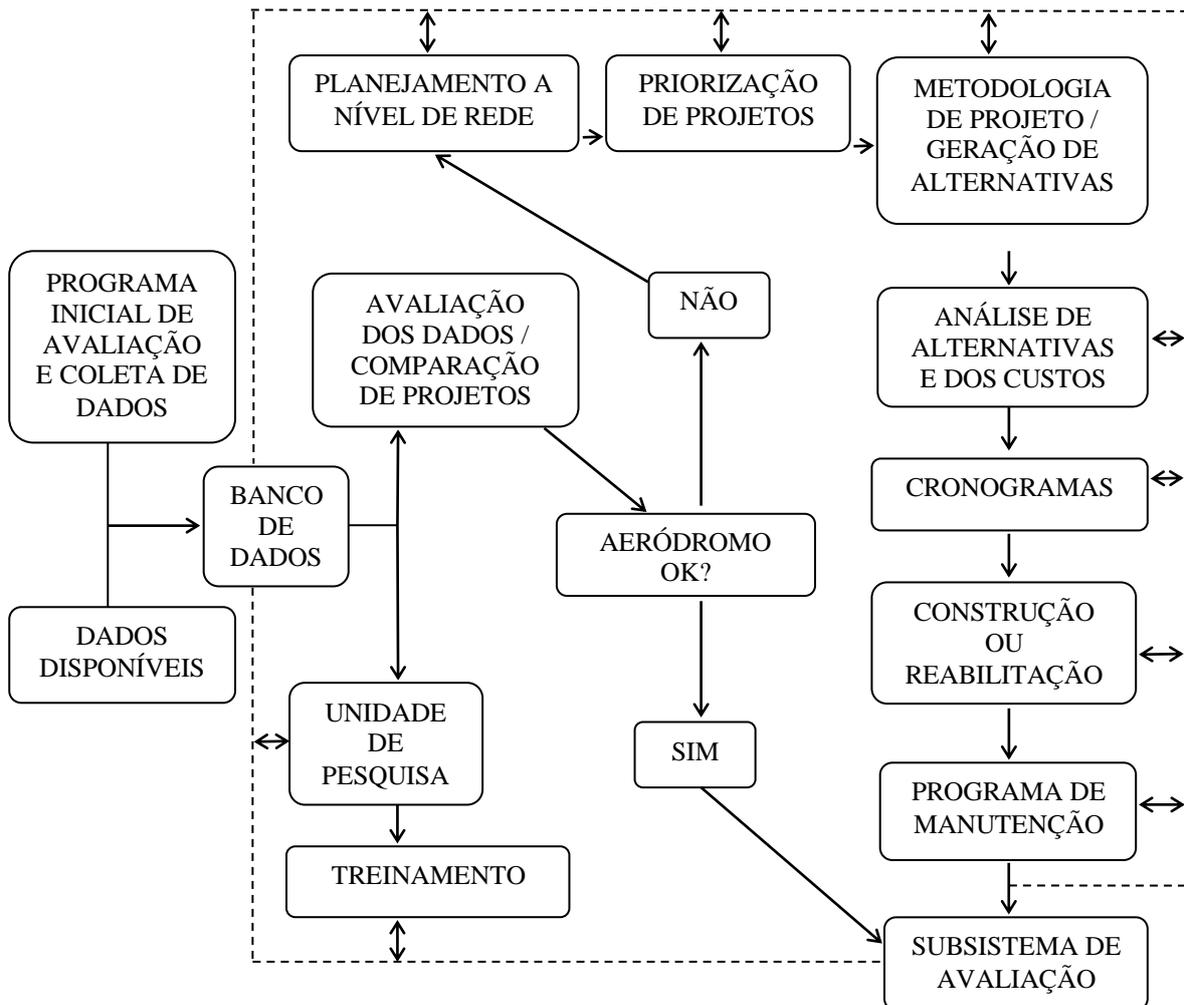
Na opinião do Gouvernement du Canada (2014), muitos operadores aeroportuários, por não disporem de conhecimento técnico apropriado exigem serviços e apoio da engenharia que devem ser fornecidos usando esforços cooperados do governo, da indústria dos transportes e de outras administrações aeroportuárias.

As atividades dos Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários devem ser integradas, compatíveis e realizadas em um trabalho conjunto. Um processo realizado de forma descontínua interrompe o ciclo e o desenvolvimento de todas as outras atividades, assim como se não houver o apoio do suporte técnico e de um banco de dados constantemente atualizado.

O banco de dados também merece destaque, já que em muitas situações, de acordo com os estudos do Gouvernement du Canada (2014), eles são esquecidos, principalmente, quando não lhes são fornecidas as informações obtidas nas demais atividades. Nessa atividade específica devem ser mantidos, dados técnicos sobre o plano inventário dos pavimentos, histórico de construção, resumos da avaliação dos pavimentos, síntese das características do solo da sub-base e dados ambientais, dentre outras informações.

Assim, considerando a ênfase atribuída ao gerenciamento dos dados, Cardoso (1988b) propôs um sistema de gerenciamento de pavimentos para aeroportos brasileiros, com o objetivo de dispor de informações confiáveis para serem utilizadas na administração e na alocação dos recursos materiais e financeiros para um conjunto de aeroportos em serviço, conforme descrição do fluxograma da Figura 3.

Figura 3 – Sistema de gerenciamento de pavimentos para os aeroportos brasileiros.



Fonte: Cardoso (1988b).

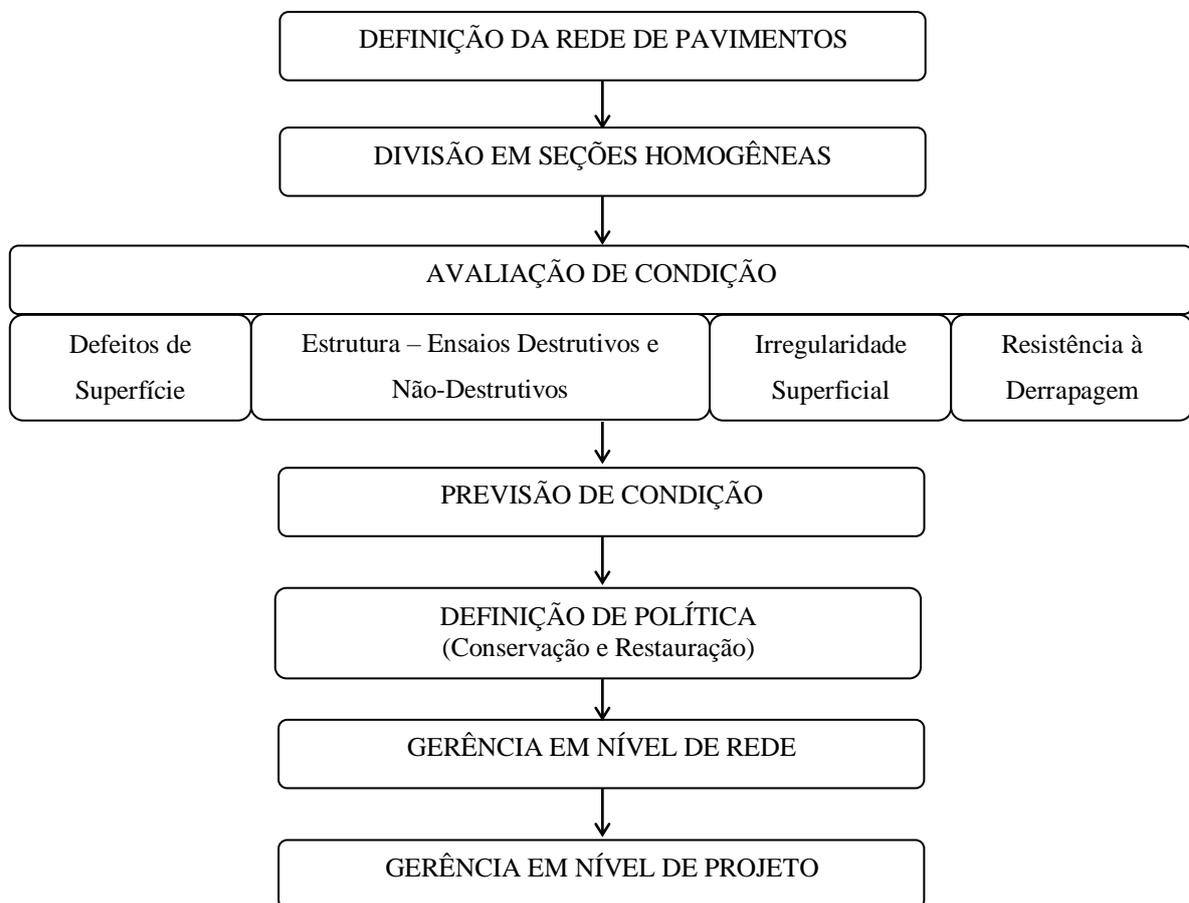
Macedo Neto (1992) relata que todas as informações pertinentes aos Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários devem compor um conjunto coordenado e de fácil acessibilidade, para subsidiar as rotinas de planejamento e análise. Afirma, ainda, que quanto maior for o nível de informações reunidas sobre os pavimentos, mais acertadas e rápidas serão as decisões sobre as alternativas técnicas e investimentos a serem programados.

Na sua pesquisa, Macedo Neto (1992) concebeu um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários especificamente para a rede de mais de 50 aeroportos da Empresa

Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO, com base numa estrutura composta de sete partes: estabelecimento de critérios, análises, seleção, tomada de decisão, implementação, monitoramento e banco de dados. Este sistema não foi implementado na prática das atividades de gerenciamento dos pavimentos dos aeroportos da rede INFRAERO, devido, especialmente, a diversas mudanças de gestão administrativa da empresa.

Segundo a INFRAERO (2005), uma das principais metas de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários é a de oferecer e garantir, de modo econômico, um conjunto de estruturas e equipamentos que proporcione um padrão de serventia operacional aceitável e adequado à sua finalidade, e que siga o fluxo da Figura 4.

Figura 4 – Fluxo de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários.



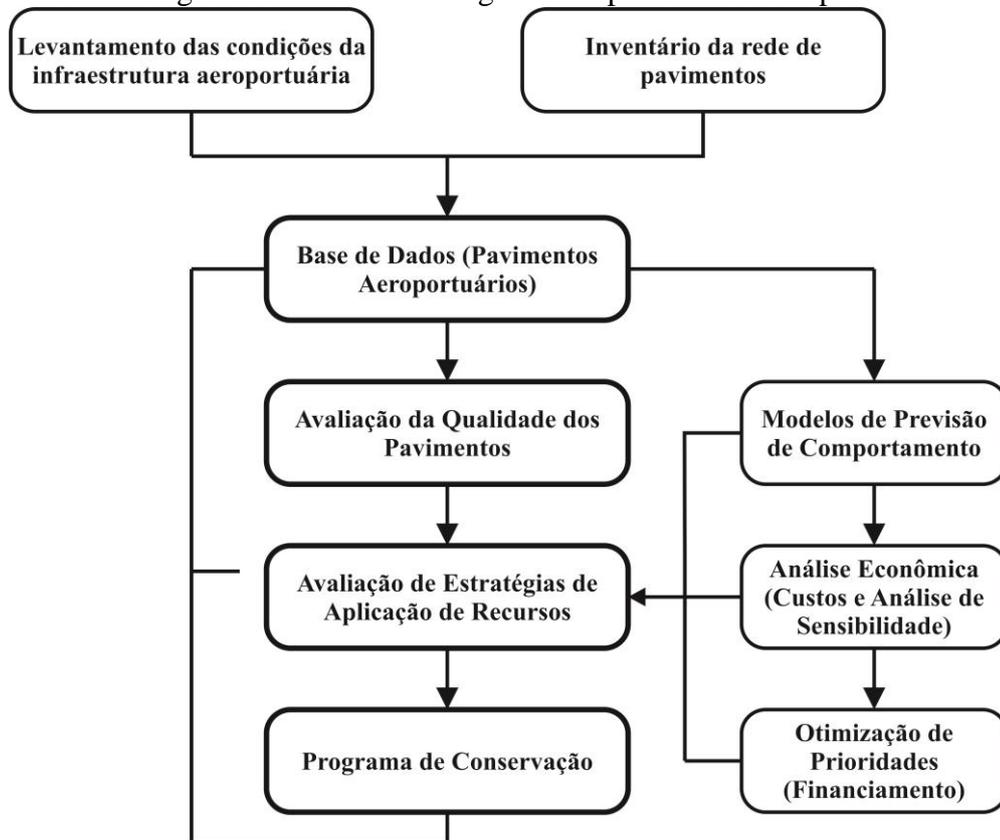
Fonte: INFRAERO (2005).

Para a FAA (2006), um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários tem a finalidade de fornecer uma ferramenta consistente para estabelecimento de políticas de facilidades, definição de prioridades e programas de alocação de recursos para a manutenção e restauração de pavimentos. Também podem fornecer informações e quantificar as recomendações específicas para as ações necessárias. Essas devem ser destinadas a manter

uma rede de pavimento em um nível de serviço aceitável, ao mesmo tempo minimizando os custos de conservação e de restauração e maximizando os benefícios.

Um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários na opinião de Fernandes (2010), é essencialmente um sistema de informação, como tal, o seu elemento de maior importância é a base de dados. Nela encontram-se reunidos todos os dados referentes à infraestrutura e ao seu estado num determinado momento. Na Figura 5 pode ser visto uma estrutura geral de um SGPA.

Figura 5 – Estrutura geral de um sistema de gestão de pavimentos aeroportuários.



Fonte: Fernandes (2010).

É preciso, então, que o operador de aeródromo possua algum parâmetro ou indicador que o auxilie nesse processo. Dentre os mais utilizados e confiáveis está o Índice de Condição do Pavimento (*Pavement Condition Index* – PCI) desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (*United States Army Corps of Engineering* – USACE), para avaliação da condição funcional, e o Método ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number*), que representa as condições estruturais dos pavimentos.

A capacidade do sistema, na concepção da FAA (2006), é o elemento dos Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários responsável pela predição da condição futura do pavimento, determinação do plano de conservação e de restauração considerando o orçamento disponível, priorização dos projetos e determinação dos requisitos orçamentários para cumprir os objetivos da administração aeroportuária.

Para a ICAO (1997), o alcance de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários vai mais além das atividades executivas de conservação e de restauração, pois seu maior objetivo é planejar, priorizar e racionalizar o destino e a aplicação dos recursos nos pavimentos aeroportuários. É necessário lembrar, no entanto, que todas as atividades de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários estão relacionadas com as disponibilidades financeiras e com as informações constantes do banco de dados.

Apesar de ser uma prática relativamente recente se comparada aos sistemas de gerenciamento de pavimentos rodoviários, a aplicação dos Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários, implementada, segundo Broten, Comer e Muntasir (2004), no início da década dos anos 80, têm trazido inúmeros benefícios para aqueles que os utilizam. Nos Estados Unidos, Holt, Zaniewski e Richards (1994) – Arizona, Green e Scherling (1994) - Flórida, Broten e Mcneely (1995) – Virgínia, Hossain e Uddin (2001) – Kansas; na Irlanda, Feighan e Reynolds-Feighan (2004) – Dublin; no Brasil, Cardoso (1998a) e Fonseca (2001) – São Paulo; na Dinamarca, Hede e Andersen (2001) – Copenhague; na China, Sun, Kan e Ji (2004) – Shanghai; e no Chile, Solminihac *et al.* (2004), dentre outros, apresentam, propõem a implantação ou relatam a aplicação desses sistemas com resultados bastante favoráveis.

Tais ocorrências demonstram a importância da implantação e da utilização de um organizado Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários que contemple efetivas estratégias de manutenção, baseadas nas condições estruturais, funcionais e de aderência, objetivando, sobretudo, o cumprimento dos parâmetros de segurança operacional.

2.2 Condições estruturais

Os pavimentos aeroportuários devem proporcionar aos seus usuários um nível de serviço elevado através de parâmetros operacionais, de segurança e de qualidade necessários, de tal forma que não se tornem fatores contribuintes à ocorrência de acidentes ou incidentes envolvendo aeronaves em solo. Dessa forma, torna-se importante a abordagem sobre a sua condição estrutural. Para Thom (2010), esse enfoque é importante, pois as aeronaves

representam uma forma de transporte com suas próprias peculiaridades em termos de cargas de roda, configurações de eixos e velocidades de deslocamento.

O trem de pouso de um Airbus, modelo A380, por exemplo, ainda segundo Thom (2010), representa a maior concentração de carga a ser acomodada sobre um pavimento aeroportuário. São cerca de 160 toneladas distribuídas por quatro ou seis rodas, em quatro trens de pousos principais, além das duas rodas do nariz, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Distribuição das rodas e dos trens de pouso do Airbus A380.



Fonte: Airliners (2014).

Essa distribuição representa uma alta concentração de cargas impostas pelos trens de pousos, significando que o campo de tensões desenvolvidas nas camadas do pavimento vai penetrar muito mais profundamente na sua fundação (no subleito), necessitando, portanto, de uma estrutura extremamente espessa, notadamente nos locais de ocorrência de solos com baixa capacidade de suporte do subleito.

As condições de resistência ou de capacidade estrutural dos pavimentos aeroportuários são representadas, essencialmente, pelo Método ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number*), que tem por finalidade a aferição da resistência do pavimento em função das características de classificação das aeronaves (ACN) e dos pavimentos (PCN). Assim, por definição da ICAO (1983), tem-se que:

a) o ACN – é o número que indica o efeito relativo de uma aeronave com uma determinada carga sobre um pavimento, para uma especificada resistência de subleito; e,

b) o PCN – é o número que expressa a capacidade de resistência de um determinado pavimento para operações sem restrições.

Em resumo, o Método ACN/PCN indica que um pavimento com um determinado valor de PCN pode suportar, sem restrições, qualquer aeronave classificada com um valor de ACN igual ou inferior ao PCN notificado, desde que sejam respeitadas as limitações de pressão dos seus pneus.

Historicamente, sabe-se que em 1974, durante a VIII Conferência de Navegação Aérea, foi solicitada à ICAO a elaboração de uma metodologia internacional unificada para classificação da resistência dos pavimentos aeroportuários, com o objetivo de padronizar as informações constantes nas Publicações de Informações Aeronáuticas (AIP – *Aeronautical Information Publication*).

Em virtude dessa solicitação, em 1977, a ICAO instituiu um grupo de trabalho que realizou estudos que resultaram em um método de classificação destinado a aeronaves com carga igual ou superior a 5.700 kg. Assim, em 1981, a ICAO anunciou o Método ACN/PCN como um sistema universal simples para determinar o peso limite de aeronaves que poderiam operar sobre determinado pavimento aeroportuário por um procedimento de comparação entre o Número de Classificação da Aeronave (ACN) e o Número de Classificação do Pavimento (PCN).

No que diz respeito ao valor do ACN, de acordo com a ICAO (1983) e com a ANAC (2012a), são utilizados dois modelos matemáticos para sua determinação, dependendo do tipo de pavimento. Desse modo, tem-se que:

a) rígidos – utilizada a Teoria de *Westergaard*, baseada em uma placa elástica carregada sobre uma sub-base de *Winkler*, assumindo o concreto uma tensão de trabalho de 2,75 MPa; e,

b) flexíveis ou mistos – fundamentado no *California Bearing Ratio* (CBR), que emprega a solução de *Boussinesq*, baseada nos deslocamentos e esforços de um semi-espaço homogêneo e isotrópico.

O ACN, numericamente, é o dobro do peso máximo expresso em toneladas que o pavimento pode suportar quando se aplica mediante uma roda simples uma pressão de pneu igual a 1,25 MPa (ICAO, 1983). Vale ressaltar que o ACN se define somente para as quatro categorias de resistência de subleito: alta, média, baixa e ultrabaixa.

A ICAO (1983) adotou convenções para determinação dos valores de ACN, uma vez que as aeronaves podem ser operadas em diversas condições de carga e centro de gravidade: o ACN máximo de uma aeronave se calcula com a massa e o centro de gravidade

que produzem a carga máxima do trem-de-pouso principal sobre o pavimento. Para condições específicas, os valores de ACN são os que se ajustam aos efeitos da pressão dos pneus e a posição do centro de gravidade, com peso bruto especificado para a aeronave.

ANAC (2012a) apresenta uma tabela de ACN (ver Anexo 1 desta Tese) em função da carga total da aeronave (peso máximo de decolagem e operação vazio), pressão dos pneus, tipo de pavimento (rígido ou flexível) e resistência do subleito. Para calcular o ACN correspondente a um valor de carga intermediário, não tabelado, considera-se o ACN como variando linearmente entre o peso de operação vazio e o peso máximo de decolagem, por interpolação.

Nos últimos anos, uma ferramenta importante foi desenvolvida pela FAA com o intuito de facilitar a obtenção dos valores de ACN. Trata-se do programa computacional denominado COMFAA que permite calcular os valores de ACN de acordo com o Método ACN/PCN, a partir das especificações da ICAO. Apesar de esse *software* ser útil na determinação do ACN, cabe à fabricante fornecer os valores oficiais de ACN das aeronaves, com base em informações detalhadas sobre as características das aeronaves.

Segundo a FAA (2011), o COMFAA possui uma biblioteca interna que abrange a maior parte das aeronaves comerciais e militares atualmente em operação. A utilização do programa permite que o usuário selecione os parâmetros desejados, tais como a aeronave e o tipo de pavimento, exibindo o ACN para as quatro categorias de resistência de subleito.

Além do COMFAA, outros programas foram desenvolvidos por empresas especializadas, a exemplo do WinPCN, produzido pela *Dynatest International* (DYNATEST, 2014a), executado em plataforma Windows utilizando dados de equipamentos do tipo FWD/HWD (*Falling Weight Deflectometer/Heavy Weight Deflectometer*) e baseado em métodos utilizados pela ICAO, incluindo um banco de dados de mais de 125 aeronaves.

Segundo DYNATEST (2014a), o WinPCN pode calcular o PCN de um determinado pavimento aeroportuário com base em valores de ACN e CBR do subleito, além disso, o usuário tem a possibilidade de modificar os parâmetros de análise, a entrada do número de operações das aeronaves, armazenar e imprimir a análise resultante.

No que diz respeito à determinação do PCN existem dois métodos conhecidos: um baseado na experiência, com operações de aeronaves sobre um determinado pavimento, e outro que se baseia na avaliação técnica.

O procedimento (ou método) experimental é de fácil utilização e aplicação, haja vista não haver necessidade de conhecimento detalhado da estrutura do pavimento. Isso

porque, neste caso, o valor do PCN é expresso como o maior valor de ACN de todas as aeronaves que utilizam o pavimento de um determinado aeroporto.

No procedimento técnico, de acordo com informações da ANAC (2012a), a determinação do valor numérico do PCN ocorre com base nos mesmos princípios para o projeto de dimensionamento de pavimentos, sendo obtido a partir da obtenção da carga bruta admissível suportada pelo pavimento. Para isso deve-se considerar a frequência de operações e os níveis de tensão admissíveis, obtendo-se a carga bruta da aeronave pelo processo inverso do dimensionamento. Além disso, é preciso avaliar o tráfego equivalente no aeroporto, a partir do tráfego de todas as aeronaves. Uma vez obtida a carga admissível, a determinação do PCN torna-se um processo de obtenção do ACN da aeronave que representa a carga admissível, adotando-se este valor como o PCN do pavimento.

Assim, dependendo do método de obtenção, o valor numérico do PCN expressa a capacidade de resistência de um determinado pavimento em termos de carga de roda simples padrão, a uma pressão de pneus normalizada de 1,25 MPa, além da tensão de trabalho no concreto, para pavimentos rígidos, de 2,75 MPa, e as quatro categorias de resistência de subleito mencionadas anteriormente.

Recomenda-se que o valor do PCN seja expresso em número inteiro, arredondando-se os números fracionários para o inteiro mais próximo. Segundo a ANAC (2012a), para pavimentos de resistência variável, o valor de PCN a ser notificado deve ser o correspondente ao segmento mais fraco do pavimento.

Diante das definições e das descrições anteriores, a notificação formal do PCN baseia-se além do valor numérico do PCN, nos seguintes parâmetros (ANAC, 2012a):

a) Tipo de pavimento:

O método considera dois tipos de pavimentos: flexíveis, adotando-se o código 'F', e rígidos, com o código 'R'. Para pavimentos complexos formados de diferentes combinações de tipos de pavimentos e que se classificam entre um pavimento flexível e um pavimento rígido (pavimentos mistos) devem ser codificados como pavimento flexível e seu PCN deve apresentar uma observação.

b) Resistência do subleito:

Adotam-se quatro categorias de resistência de subleito para cada tipo de pavimento, sendo utilizado um valor normalizado para cada categoria, conforme apresentado na Tabela 1 para pavimentos rígidos e na Tabela 2 para pavimentos flexíveis ou mistos.

Tabela 1 – Valores de resistência do subleito para pavimentos rígidos.

Categoria do subleito	Resistência do subleito k (MN/m³)	Resistência do subleito normalizada k (MN/m³)	Código
Alta	$k \geq 120$	150	A
Média	$60 \leq k \leq 120$	80	B
Baixa	$25 \leq k \leq 60$	40	C
Ultrabaixa	$k \leq 25$	20	D

Fonte: ANAC (2012a).

Tabela 2 – Valores de resistência do subleito para pavimentos flexíveis ou mistos.

Categoria do subleito	Resistência do subleito CBR (MN/m³)	Resistência do subleito normalizada CBR (MN/m³)	Código
Alta	$CBR > 13$	15	A
Média	$8 < CBR < 13$	10	B
Baixa	$4 < CBR < 8$	6	C
Ultrabaixa	$CBR < 4$	3	D

Fonte: ANAC (2012a).

c) Pressão de pneus:

Aplica-se o código ‘W’ para o caso de pavimentos rígidos, devido à capacidade de absorver altas pressões de pneus, e para pavimentos flexíveis ou mistos utilizam quatro categorias para notificação da pressão admissível de pneus, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores e código de pressão de pneus.

Categoria	Pressão máxima permitida de pneus	Código
Alta	Sem limites	W
Média	Limitada a 1,5 MPa	X
Baixa	Limitada a 1,0 MPa	Y
Ultrabaixa	Limitada a 0,5 MPa	Z

Fonte: ANAC (2012a).

d) Método de avaliação:

Caso o método seja baseada em estudo técnico, o código adotado é ‘T’, e sendo baseada em método experimental, o código a ser indicado é ‘U’.

Assim, um código PCN, por exemplo, pode ser notificado como 66/F/A/X/T, conforme apresenta Oliveira (2009) para a pista de pouso e decolagem 13/31 do Aeroporto Internacional de Fortaleza, no Ceará, ou 85/F/B/W/T, para as pistas 09L/27R e 09R/27L do Aeroporto Internacional de Guarulhos, em São Paulo, como descreve DECEA (2013).

Cabe relatar que existe proposta de emenda (ICAO, 2011) ao Anexo 14 da ICAO para alterações na classificação das categorias, bem como na pressão máxima permitida de pneus, apresentados na Tabela 3, que seriam denominadas respectivamente de: Ilimitada, Alta (limitada a uma pressão máxima de 1,75MPa), Média (limitada a 1,25MPa) e Baixa (mantida a especificação de 0,50MPa).

Nesse sentido, Shepson (2009) constata que cerca de 41% dos aeroportos em todo o mundo limitam a 1,5MPa pressão dos pneus das aeronaves, sendo que a maioria das novas aeronaves têm pressão dos pneus superiores a isso. Ainda segundo Shepson (2009), ensaios estão sendo acompanhados pela ICAO em pistas experimentais de vários aeroportos para confirmar que os aeroportos podem suportar aeronaves com a pressão dos pneus superior a 1,5 MPa, sem quaisquer consequências para o seu pavimento.

De acordo com Gomes (2008), a evolução tecnológica simplificou os diversos fatores que influenciam a resistência dos pavimentos ao utilizar o índice PCN para expressar a capacidade estrutural de resistência dos pavimentos aeroportuários de modo prático e de aplicação imediata. Ainda segundo a autora, o PCN representa todos os fatores criteriosamente selecionados como contribuintes, complementados por informações relevantes para uso operacional a todos os usuários dos aeroportos.

A ICAO (1983 e 1997) ressalta, porém, que o Método ACN/PCN não tem a finalidade de projetar ou avaliar os pavimentos aeroportuários, e que é permitida a cada operador de aeródromo ou a autoridade aeronáutica a utilização de qualquer metodologia ou técnica de dimensionamento.

De acordo com ANAC (2012a), para pavimentos flexíveis é admitida sobrecarga máxima por aeronave com ACN igual a 110% do PCN, e no caso de pavimentos rígidos ou que tenham estrutura desconhecida é permitida sobrecarga máxima de aeronave com ACN igual a 105% do PCN, tomando como base o número de movimentos de aeronaves registrados nos últimos 12 meses. Em situação na qual seja necessário o tráfego de aeronaves que extrapole os parâmetros anteriores, o operador do aeródromo deve, previamente, realizar uma análise de impacto sobre a segurança operacional.

No que diz respeito ao dimensionamento de um pavimento aeroportuário com análise feita pelo método mecanicista, pode-se destacar, por exemplo, a utilização do *software*

FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*), regulamentado por FAA (2009b). Segundo HORONJEFF e MCKELVEY (2010), o *software* baseia-se na fadiga do pavimento de acordo com o Fator Acumulativo de Danos (*Cumulative Damage Factor – CDF*), no qual a contribuição de cada aeronave de um conjunto de aeronaves é analisada separadamente, conforme se apresenta na Tabela 4.

Tabela 4 – Vida útil dos pavimentos de acordo com o valor do CDF.

Valor do CDF	Vida Útil do Pavimento
1	O pavimento chegou vida útil de fadiga
< 1	O pavimento não chegou útil de fadiga
> 1	O pavimento excedeu a vida útil de fadiga

Fonte: Adaptado FAA (2009b).

Esse método é baseado em dois modos de ruptura: deformação permanente no topo do subleito e o trincamento por fadiga que se inicia na parte inferior da camada de revestimento. As estruturas são calculadas por três subprogramas: LEAF (análise elástica das camadas), NIKE3D (análise de elementos finitos) e INGRID (geração de malha).

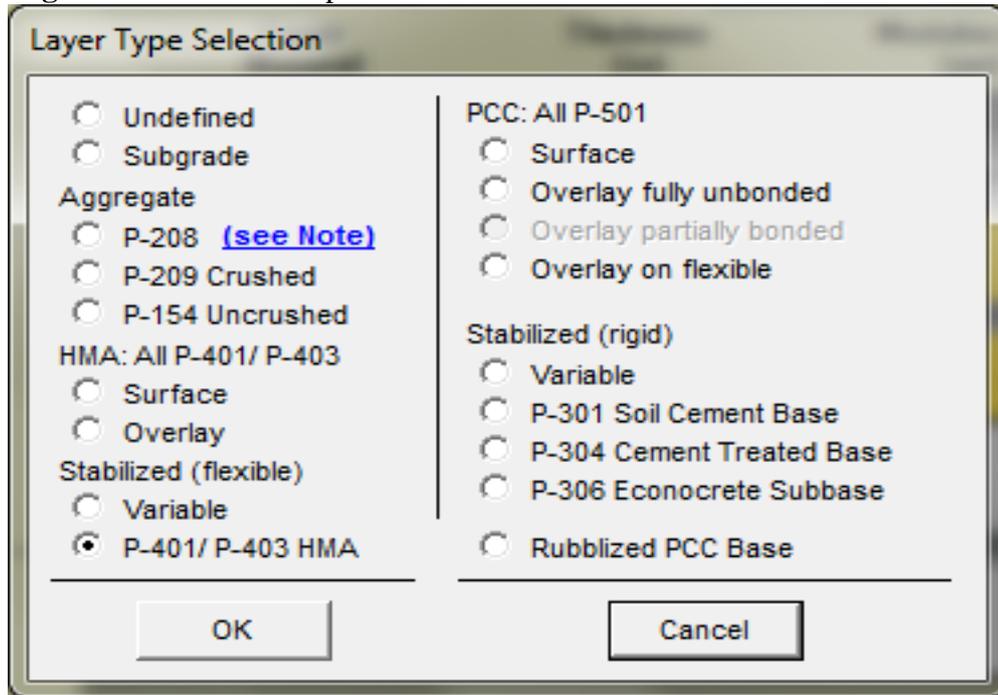
A FAA (2009b) disponibiliza as seguintes camadas no FAARFIELD:

- a) base: *Aggregate Base Course; Crushed Aggregate Base Course; Lime Rock Base Course; Recycled Concrete Aggregate Base Course; Cement Treated Base Course; Econocrete Subbase Course; Plant Mix Bituminous Pavements; HMA Base Course;*
- b) de sub-base: *Subbase Course; Caliche Base Course; Shell Base Course; Sand Clay Base Course; Soil Cement Base Course.*

Na Figura 7 é apresentada a tela do programa com as camadas disponíveis no *software*, com respectivos códigos para alguns tipos.

A FAA (2009b) afirma que o revestimento para o pavimento flexível corresponde ao Concreto Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ), com espessura mínima recomendada de 10,2cm para aeronaves de grande porte. O programa, também, utiliza um valor fixo para o Módulo de Resiliência (MR) dessa camada igual a 1.380MPa. A FAA (2009b) afirma, também, que a determinação do MR foi realizada de forma conservadora, pois corresponde ao revestimento com uma temperatura de 32°C.

Figura 7 – Camadas disponíveis no FAARFIELD.



Fonte: FAARFIELD (2009).

A FAA (2009b) divide as camadas de base em dois tipos: estabilizadas e não estabilizadas. As bases estabilizadas podem ser subdividas em flexíveis e rígidas. As bases estabilizadas flexíveis podem ser: HMA e *Variable*. O padrão do FAARFIELD (2009) é utilizar a camada de base HMA que tem um MR fixo igual a 2.760MPa. A camada *Variable* não apresenta um MR fixo, ele pode variar entre 1.035MPa a 2.760MPa. As bases rígidas podem ser: *Cement Treated Base* e *Econocrete Subbase*. A Tabela 5 apresenta um resumo com as características (MR e Coeficiente de Poisson) das camadas de base estabilizadas.

Tabela 5 – Base estabilizada rígidas e flexíveis.

Camada de Base	Módulo de Resiliência (MPa)	Coeficiente de Poisson
Bases Flexíveis		
Variable	1.035 – 2760	0,35
P-401/403	2.760	0,35
Bases Rígidas		
Variable	1.720 – 4.830	0,20
P-304	3.450	0,20
P-306	4.830	0,20

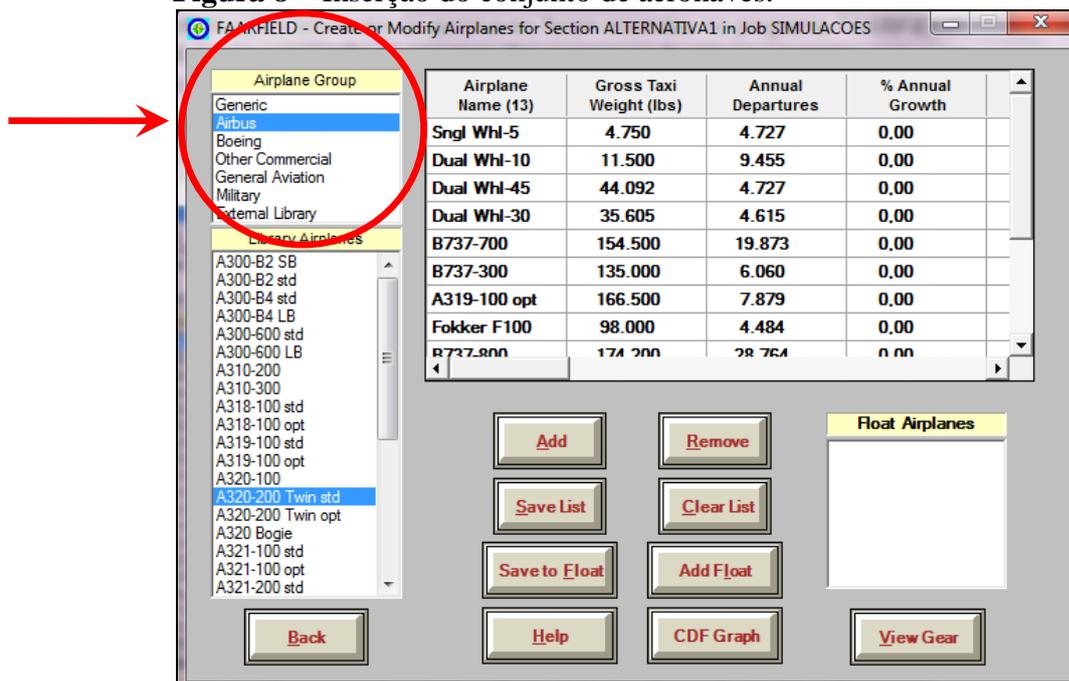
Fonte: Adaptado FAA (2009b).

Segundo a FAA (2009b), o valor mínimo recomendado para o MR igual a 1.035MPa corresponde a um fator de equivalência de 1,2 da camada de base, já o valor máximo igual a 2.760MPa corresponde a um fator de 1,6.

As camadas de base não estabilizadas são os itens *Crushed Aggregate Base Course* e *Aggregate Base Course*. Diferentemente das estabilizadas, as bases não estabilizadas apresentam o valor do MR fixo. O *software* adota como padrão a base correspondente ao *Crushed Aggregate Base Course* e ele aceita que as camadas sejam colocadas em qualquer lugar da estrutura do pavimento, exceto no revestimento e no subleito. Na estrutura de pavimento o *software* aceita apenas a utilização de duas camadas não estabilizadas e, se as camadas *Crushed Aggregate Base Course* e *Aggregate Base Course* são adjacentes e, respectivamente, sobrepostas.

As sub-bases podem ser formadas por materiais britados ou estabilizados. A espessura mínima para uma sub-base é igual a 10 cm. O programa aceita a utilização de mais de uma camada, porém é necessário ter o cuidado de não deixar uma camada de brita entre duas camadas estabilizadas. Assim como nas bases, os materiais de melhor qualidade devem ficar sobrepostos aos materiais de menor qualidade (FAA, 2009b). A biblioteca do FAARFIELD (2009) é composta por uma grande variedade de aeronaves. Conforme apresentada na Figura 8, ela divide os grupos de aeronaves em Genéricos, Airbus, Boeing, outros Aviões Comerciais, Geral e Militar.

Figura 8 – Inserção do conjunto de aeronaves.



Fonte: FAARFIELD (2009).

Assim, como no método empírico, no método mecanicista é feita a recomendação por FAA (2009b), de que o trem de pouso principal da aeronave corresponde a 95% do peso bruto da mesma. O FAARFIELD (2009) foi desenvolvido para produzir modelos confiáveis de espessuras de pavimentos a partir de um conjunto de aeronaves previstas para trafegar naquela estrutura. Segundo a FAA (2009b), os danos ao pavimento gerados por cada aeronave são somados. O método mecanicista diferencia-se do método empírico na consideração da aeronave. Enquanto o *software* considera a contribuição do CDF de todas as aeronaves no dimensionamento, os ábacos consideram apenas a influência da aeronave de projeto.

Por ser um método de cálculo recente, essa técnica é pouco difundida no meio técnico brasileiro. Desconhece-se que a INFRAERO possua norma recomendando o método mecanicista no dimensionamento dos pavimentos aeroportuários administrados por ela. Portanto, a metodologia de cálculo dos pavimentos aeroportuários brasileiros é baseada na norma americana FAA (1978), por estar disponível uma versão traduzida para a língua portuguesa. Dessa forma, nesta pesquisa não foi encontrado nenhum estudo comparativo para os aeroportos brasileiros entre os métodos de dimensionamento do pavimento aeroportuário.

2.3 Condições funcionais

Garantir condições funcionais adequadas aos pavimentos aeroportuários, sobretudo às pistas de pouso e decolagem, é uma das principais responsabilidades de um operador de aeródromo. Isso porque tais condições estão diretamente relacionadas ao conforto e à suavidade ao rolamento proporcionados pelas superfícies daquelas pistas e, por consequência, percebidos pelos seus usuários – tripulantes e passageiros das aeronaves.

Segundo Bernucci *et al.* (2007), a avaliação da condição funcional de um pavimento está associada à análise da sua superfície e como o estado da superfície avaliada influencia no conforto ao rolamento. Essa consideração guarda estreita relação com os conceitos de serventia e desempenho, estabelecidos nas pesquisas de Carey e Irick (1960) para as pistas experimentais da AASHO (*American Association of State Highway Officials*, hoje AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*).

A serventia é definida como a capacidade de uma determinada seção do pavimento, à época da observação, de servir ao tráfego, com elevados volumes e altas velocidades. Enquanto que o desempenho é a variação dessa serventia com o tempo ou tráfego (Fernandes Júnior, Oda e Zerbini, 1999).

Ocorre que a serventia dos pavimentos pode ser afetada de modo bastante significativo pela presença de irregularidades e defeitos diversos. Os problemas funcionais das pistas, na visão de Shahin (2005), afetam diretamente aos seus usuários no que diz respeito, além do conforto ao rolamento, ao tempo de viagem e à segurança, proporcionando aumento nos custos operacionais dos equipamentos – veículos ou aeronaves.

ANAC (2012a), tal qual a terminologia designada por DNIT (2003), define os defeitos no pavimento como sendo os danos ou deteriorações surgidos na superfície que podem ser classificados segundo uma metodologia normatizada e identificados a olho nu, tais como fissuras, trincas, afundamentos, ondulações, desníveis, deformações, escorregamentos, exsudações, desgastes, buracos, desnivelamentos de placas, escalonamentos/degraus nas juntas, bombeamentos, avarias no material selante entre as juntas de dilatação das placas de concreto, esborcinamentos, dentre outros.

Muitos dos defeitos citados anteriormente, além de perturbadores das condições funcionais, interferem negativamente nas condições de aderência pneu-pavimento durante as operações de pousos e decolagens das aeronaves, causando sérios problemas, tais como a hidroplanagem (ou aquaplanagem), com riscos de acidentes fatais.

Os defeitos mais representativos para a segurança operacional do aeródromo e que influenciam a condição funcional dos pavimentos, na opinião de ANAC (2012a), são aqueles relacionados a presença de detritos, desníveis, depressões, deformações, problemas nas juntas de dilatação, irregularidades longitudinais e acúmulo de borracha.

É evidente, portanto, que todos os pavimentos gradualmente se deterioram com o tempo. Essa deterioração é normalmente evidenciada pelo aparecimento de diferentes tipos de defeitos na superfície, causados pela combinação de condições climáticas e ambientais, pelas operações de pousos, decolagens, movimentação das aeronaves, materiais utilizados e técnicas construtivas. Realizar o levantamento adequado desses defeitos é primordial para que atividades de manutenção e reabilitação sejam propostas de maneira a garantir a operacionalidade da infraestrutura.

Para ANAC (2012a), a adequada operação aeroportuária e a proteção das aeronaves, dos veículos, das pessoas e dos equipamentos aeronáuticos e aeroportuários são essenciais. Para tanto, o operador do aeródromo deve manter a superfície das áreas pavimentadas livre de defeitos que possam causar detritos que danifiquem as aeronaves, a perda do controle direcional das aeronaves e danos à integridade dos equipamentos.

Diante dessa questão, é necessário que o diagnóstico das condições funcionais dos pavimentos aeroportuários seja realizado de acordo com as necessidades do aeroporto. De

acordo com Silva (2008), o diagnóstico deve ser efetuado considerando-se todas as informações levantadas e os resultados das avaliações realizadas, com objetivo de interpretar o desempenho que o pavimento vem apresentando.

O monitoramento dos defeitos dos pavimentos, conforme ANAC (2012a), deve ser feito através de inspeções visuais regulares. Para Macedo (2005), a avaliação das condições funcionais deve ser realizada a partir de medições diretas ou inspeções visuais, ou a combinação dessas duas, e pode ser expressa na forma de índices de qualidade. Dentre os mais utilizados e confiáveis está o Índice de Condição do Pavimento (*Pavement Condition Index – PCI*) desenvolvido, como já afirmado anteriormente nesta pesquisa, pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (*United States Army Corps of Engineering – USACE*).

O PCI, de acordo com a ICAO (1997), foi desenvolvido durante os anos de 1974 a 1976 sob responsabilidade do Centro de Engenharia Civil da Força Aérea dos Estados Unidos. O método foi desenvolvido em escritório, experimentado na prática e validado através do trabalho de muitos engenheiros experientes em nove aeroportos e mais de 100 pavimentos localizados nas mais diferentes condições climáticas e submetidos em distintas intensidades de tráfego.

Esse índice se propõe a determinar o estado atual de um pavimento em termos de sua integridade estrutural e nível de serviço. Fornece, ainda, uma referência numérica para as quantidades, os tipos e as severidades dos defeitos identificados no pavimento inspecionado e, por sua vez, indica a condição do pavimento.

Para o levantamento das condições de superfície é necessário designar as características de cada tipo de pavimento. As facilidades, como as pistas de pouso e decolagem, de taxiamento e os pátios de estacionamento, precisam ser divididas em segmentos ou características que são definidos em termos de projeto, histórico de construção e manutenção, levantamentos anteriores, condições gerais e de tráfego – tipos de aeronaves, operações e frequências de uso, dentre outras.

Após análise das características recomendadas no parágrafo anterior, o primeiro passo na metodologia consiste em separar cada superfície a ser avaliada em unidades de amostra que devem possuir área que dependem do tipo de pavimento – rígido ou flexível. O ideal é que todas as unidades de amostra sejam avaliadas, porém, em muitas ocasiões, a indisponibilidade de tempo, de recursos materiais, humanos ou financeiros inviabiliza o levantamento total, principalmente se considerada áreas pavimentadas de aeroportos.

Para esse caso, USACE (1989) sugere a utilização de um plano estatístico para seleção de um número mínimo de unidades de amostra para o levantamento, desde que as unidades não sejam inferiores a cinco, onde, nesse caso, todas deverão ser avaliadas.

Após a seleção das unidades de amostra a serem levantadas, identificar os tipos de defeitos e o grau de severidade – baixo (B), médio (M) ou alto (A), de acordo com os apresentados no manual apresentado por USACE (1989).

Em seguida, quantificam-se os defeitos apresentando-os através da densidade da área afetada. Para cada defeito e seu grau de severidade associado àquela densidade, existe um gráfico que mostra um número definido como Valor Deduzido. Depois é preciso realizar o somatório desses valores deduzidos para se obter o Valor Deduzido Total – VDT.

Posteriormente, ajusta-se, através de um gráfico específico, o VDT para um Valor Deduzido Corrigido – VDC, sempre que a quantidade de valores deduzidos for superior a classificação cinco. Após obter o VDC, procede-se à obtenção do valor do PCI através da equação (1):

$$PCI = 100 - VDC \quad (1)$$

em que,

PCI = índice de condição do pavimento; e,

VDC = valor deduzido corrigido.

Os valores do PCI variam de 0 para um pavimento em péssimas condições a 100 para uma condição excelente, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação do PCI.

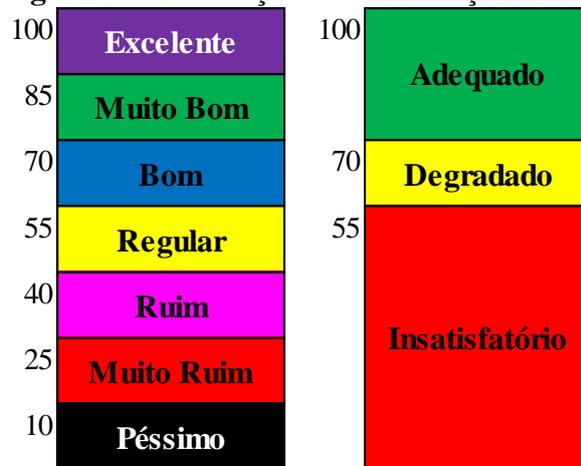
Classificação	PCI
Excelente	85 – 100
Muito Bom	70 – 85
Bom	55 – 70
Regular	40 – 55
Ruim	25 – 40
Muito Ruim	10 – 25
Péssimo	0 – 10

Fonte: Adaptado de Shahin (2005).

O uso do PCI, segundo Shahin (2005), para pavimentos de aeroportos, rodovias e estacionamentos tem recebido grande aceitação por várias agências nos Estados Unidos, como a Administração Federal de Aviação (FAA), a Força Aérea, o Departamento de Defesa, a Administração Federal de Rodovias (FHWA) e a Associação de Obras Públicas (APWA).

Objetivando a otimização dos processos de avaliação pelo PCI, o Corpo de Engenheiros do Exército Americano desenvolveu o *software* denominado Micro PAVER. O programa, segundo USACE (2004), é capaz de desenvolver e organizar o inventário, avaliar a condição atual, desenvolver modelos para prever a condição futura, além de fornecer relatórios sobre o desempenho e criar cenários para a manutenção dos pavimentos com base nas necessidades de orçamento. O Micro PAVER sugere, na Figura 9, uma apresentação de classificação para melhor visualização e análise dos resultados conforme a sua condição.

Figura 9 – Otimização da classificação do PCI.



Fonte: Adaptado de USACE (2004).

A Figura 9 mostra duas caracterizações separadas, também, por cores distintas o que facilita a compreensão das condições: do lado esquerdo a classificação do PCI, conforme apresentado na Tabela 6, e do lado direito, a condição funcional global do pavimento.

Uma escala de classificação semelhante proposta por Durán e Fernandes Júnior (2015), para gerência de pavimentos aeroportuários, ajusta a escala do PCI apresentada anteriormente para o que se apresenta na Figura 10.

Figura 10 – Ajuste da classificação do PCI.



Fonte: Adaptado de Durán e Fernandes Júnior (2015).

No Brasil, a INFRAERO adotou o uso do PCI em meados da década de 2000 quando necessitou de informações de diversos aeroportos da rede para implementação do seu Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários baseado principalmente nesse índice. Os dados obtidos, naquela ocasião, mostravam que cerca de 82% dos pavimentos avaliados encontravam-se na situação de bom a excelente (Oliveira, 2009). Além desse exemplo, pode-se mencionar para aeroportos algumas propostas de aplicações de avaliação da condição funcional por meio de PCI, através dos trabalhos de Espeschit (1990), Fonseca (2001), Silva (2008), Heinzelmann e Figueiredo (2010), Cordovil (2010) e Henrique (2013).

O PCI para aeroportos, nos Estados Unidos, foi normatizado pela *American Society for Testing Materials* – ASTM em 1998, com última revisão em 2012 (ASTM, 2012). Além disso, há indicação de uso em FAA (2007). No Brasil, desconhece-se a existência de norma aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT para a utilização de PCI, seja em aeroportos ou rodovias.

Contudo, algo semelhante existe como procedimento de avaliação de superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos rodoviários no Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, publicado através de DNIT (2003), conhecido por Índice de Gravidade Global – IGG, para inventário e classificação de ocorrências aparentes e deformações permanentes.

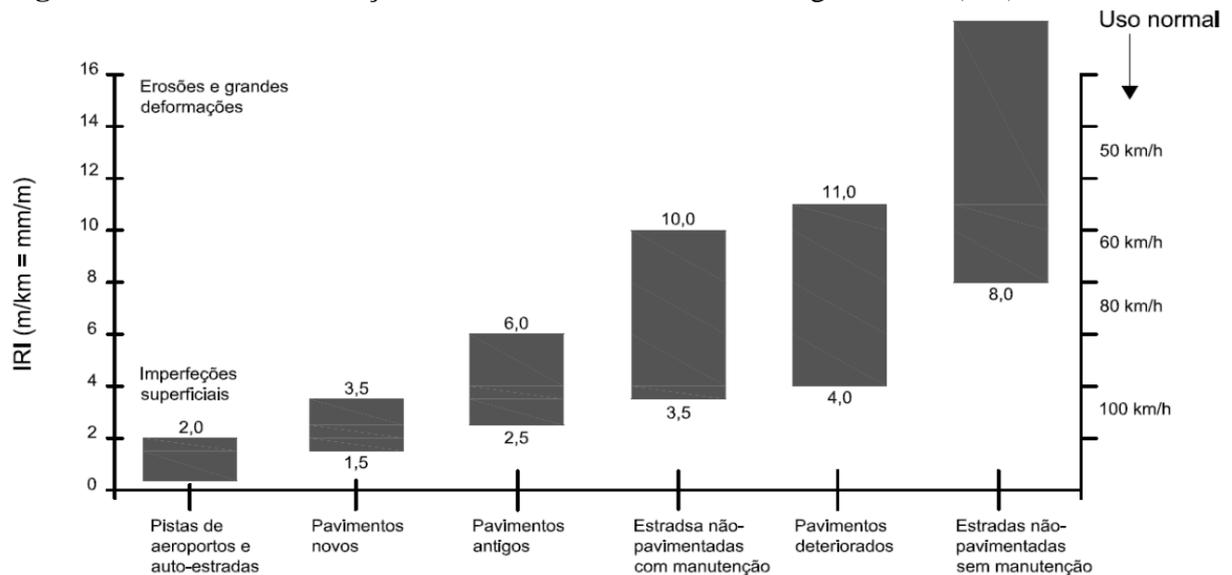
Diversas são as experiências em diferentes aeroportos ao redor do mundo. Broten e Sombre (2001), por exemplo, mencionam que os procedimentos relacionados ao PCI têm sido utilizados em centenas de aeroportos nos Estados Unidos desde o início dos anos 80. Além desse, pode-se mencionar, dentre outros, as importantes contribuições de Cation e Shahin (1987), Shahin e Schmidt (1998), Covalt e Johnson (2008) e Thuma, Fuselier e Yip (2008). Vale ressaltar que a maioria dos trabalhos mencionados anteriormente, por ocasião da aplicação dos Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários, tem a utilização do PCI como base da avaliação da condição funcional dos pavimentos aeroportuários.

Além da inspeção visual para monitoramento dos defeitos dos pavimentos, complementarmente, a ANAC (2012a) indica aos operadores de aeródromo, especificamente para as pistas de pouso e decolagem, a avaliação da condição funcional através da medição da irregularidade longitudinal, seguindo a escala internacional de irregularidade, definido como *International Roughness Index* – IRI (ou Índice Internacional de Irregularidade).

Na definição de Sayers e Karamihas (1998), a irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal, considerando o projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos e das cargas, a

qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via. O IRI, por sua vez, é um índice estatístico, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto. O IRI é uma medida da irregularidade longitudinal que se relaciona com o custo total de operação dos veículos ou aeronaves, com a qualidade da trafegabilidade e com as condições gerais da superfície do pavimento avaliado. A Figura 11 apresenta faixas de IRI representadas por diferentes classes de pavimentos.

Figura 11 – Faixas de variação do Índice Internacional de Irregularidade (IRI).

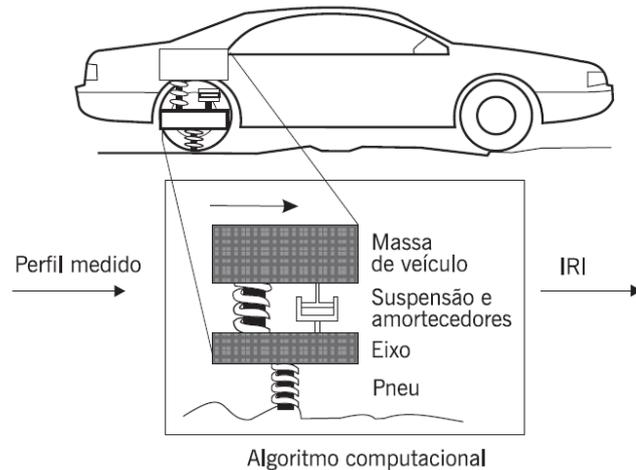


Fonte: DNIT (2011) adaptado de Sayers e Karamihas (1998).

Thom (2010) afirma que superfícies de pavimentos com IRI menor que 2,0m/km estão em condição excelente e com IRI maior que 5,0m/km, muito acidentado/irregular. Embora a medida da irregularidade longitudinal, segundo Sayers e Karamihas (1998), através de um sistema tipo-resposta (cujo princípio de funcionamento se baseia na medição através da suspensão de um veículo trafegando sobre uma superfície, como mostrado na Figura 12), tenha se tornado popular a partir de 1940, não foi possível obter os mesmos valores para veículos diferentes, ou mesmo a partir do mesmo veículo ao longo do tempo.

Entende-se que a metodologia de obtenção do IRI, sobretudo através do princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta, não tem aplicação direta na determinação da irregularidade longitudinal e o conseqüente conforto ao rolamento de pistas de pousos e decolagens, devido a diversos fatores: peso, dimensões e velocidade das aeronaves, quantidade, disposição, pressão e desenho das bandas de rodagem dos pneus nos trens de pousos e o próprio sistema de amortecimento, que é completamente diferente dos veículos.

Figura 12 – Princípio de funcionamento de equipamento tipo-resposta.



Fonte: Bernucci *et al.* (2007)

Em virtude da questão apresentada no parágrafo anterior, diversos estados americanos solicitaram investigação complementar e, no final dos anos 1970, as divergências foram estudadas pelo *National Cooperative Highway Research Program* – NCHRP, sendo relatado por Gillespie, Sayers e Segel (1980) as características de desempenho e as condições necessárias para calibração dos diversos instrumentos e veículos estudados, através de funções e modelos matemáticos e estatísticos, definindo um parâmetro denominado de Índice Internacional de Irregularidade (IRI). Ainda na pesquisa, os autores recomendaram que as agências de rodovias continuem a incentivar as pesquisas para estimular o desenvolvimento de sistemas de medição da irregularidade a um baixo custo.

Em 1982, um estudo solicitado pelo Banco Mundial e conduzido por Sayers, Gillespie e Paterson (1986) foi realizado no Brasil com o objetivo de obter medidas em campo para o estabelecimento de correlação e padrões de calibração para as medições do Índice Internacional de Irregularidade nas condições locais.

Ainda para Gillespie, Sayers e Segel (1980), uma medida objetiva de rugosidade (ou da irregularidade longitudinal) pode servir a várias funções, tais como: medir a qualidade de novas construções e monitorar o estado geral da rede pavimentada; auxiliar a tomada de decisão sobre a alocação de recursos de manutenção, e; apresentar uma medida histórica de desempenho dos pavimentos que podem ser utilizados na avaliação de projetos alternativos de construção.

Segundo Bernucci *et al.* (2007) a irregularidade longitudinal pode ser obtida através de medidas topográficas ou por meio de equipamentos de medição do perfil longitudinal com ou sem contato, ou ainda indiretamente com os equipamentos do tipo-

resposta. Sayers e Karamihas (1998) descrevem que para a avaliação direta da irregularidade longitudinal existem equipamentos do tipo Nível e Mira, *Dipstick*, Perfilômetros a Laser (mostrado na Figura 13), e para a avaliação indireta, pode-se utilizar o *TRL Bump Integrator*, *Maysmeter*, *Merlin*, dentre outros.

Figura 13 – Exemplos de perfilômetros a laser.



Fonte: Dynatest (2014b).

No Brasil, o DNIT, através de DNER (1994), define o procedimento a ser utilizado para a determinação da irregularidade de superfície de rodovias com emprego de sistemas integradores IPR/USP e *Maysmeter*. O sistema integrador IPR/USP é um sistema medidor de irregularidade tipo-resposta, constituído por um veículo tipo passeio, no qual são instalados equipamentos, tais como um sensor de deslocamentos verticais e um quantificador de irregularidade, composto de um odômetro e um totalizador, desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR e pela Universidade de São Paulo – USP.

Para aeroportos não há indicação de equipamentos de medição do IRI por parte da Organização da Aviação Civil Internacional – ICAO. No Brasil, o órgão regulador da aviação civil nacional, a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, através de ANAC (2012a) não recomenda um equipamento específico, mas afirma que o operador do aeródromo deve monitorar a irregularidade longitudinal por meio de medições, com equipamentos que permita a obtenção de valores expressos na IRI.

Ainda no cenário dos aeroportos, ICAO (2004) recomenda que a superfície dos pavimentos dos aeroportos deve ser mantida num estado adequado de conservação de modo a impedir a formação de irregularidades prejudiciais, já que essas irregularidades podem causar danos às aeronaves durante as operações de pousos e decolagens, causando vibrações excessivas ou outras dificuldades no controle direcional das aeronaves, sobretudo se

estiverem acima do tolerado: mais de 3,0cm ao longo de 45m (ou 0,667m/km). Para FAA (2009b), esse limite é da ordem de 3,0mm ao longo de 3,0m (ou 1,0m/km).

As irregularidades com o tempo, ainda segundo ICAO (2004), podem aumentar a possibilidade de acúmulo de água nas superfícies dos pavimentos, especialmente das pistas de pouso e decolagem. Acúmulos de água na superfície são particularmente danosos, sobretudo se estão localizados nos pontos de toque onde as aeronaves, em alta velocidade, realizam seus pousos, o que pode induzir à ocorrência de aquaplanagem ou congelamento nos locais onde o clima seja favorável ao surgimento deste evento.

No Brasil, ANAC (2012a) adverte que o operador do aeródromo deve manter o índice de irregularidade longitudinal da pista de pouso e decolagem menor ou igual a 1,0m para cada extensão de 500m (ou 2,0m para cada 1,0km de superfície avaliada), atendendo ao padrão de pistas de aeroportos e autoestradas. Vale ressaltar que não há indicação para medição em pistas de taxiamento ou pátios de estacionamento de aeronaves.

A medição da irregularidade longitudinal nos aeroportos brasileiros, ainda conforme ANAC (2012a), deve ocorrer ao longo de toda a extensão da pista de pouso e decolagem a 3,0m do eixo, em ambos os lados. Essa é a faixa onde os trens de pousos da maioria das aeronaves (de médio e grande porte) entram em contato com a superfície das pistas durante as suas operações de pousos e decolagens.

Além disso, recomenda-se que a medição ocorra após a construção ou recapeamento total ou quando houver aumento da extensão longitudinal da pista de pouso e decolagem, e obrigatoriamente na frequência definida na Tabela 7, que varia conforme a quantidade de pousos diários por cabeceiras de aeronaves de asas fixas com motor a reação ou turbojato, tendo por base a média dos últimos 12 meses.

Tabela 7 – Frequência de medição da irregularidade longitudinal.

Pousos diários	Frequência de medição
1 a 15	Cada 36 meses
16 a 30	Cada 24 meses
31 a 90	Cada 24 meses
91 a 150	Cada 18 meses
151 a 210	Cada 12 meses
Mais de 210	Cada 12 meses

Fonte: Adaptado de ANAC (2012a).

Estudos relacionados à obtenção e análise do IRI em aeroportos brasileiros são bastante recentes. Pode-se destacar, dentre eles, o trabalho de Almeida (2015) que tratou da

avaliação da irregularidade longitudinal nas pistas de pouso e decolagem dos aeroportos de Fortaleza - CE, João Pessoa - PB, Recife - PE, Salvador - BA, Rio de Janeiro - RJ, São Paulo - SP e Porto Alegre – RS, através de dados fornecidos pela INFRAERO e pela ANAC.

De modo mais específico, Almeida (2015) concluiu que as pistas dos aeroportos situados na região Nordeste apresentaram, em sua grande maioria, os valores acima do limite estabelecido por ANAC (2012a). Para os aeroportos da região Sudeste, especificamente o do Rio de Janeiro/Santos Dumont, foi possível concluir que a pista de pouso e decolagem analisada apresentou, em toda a sua extensão, valores de IRI abaixo do estabelecido. Para o Aeroporto de São Paulo/Congonhas, observou-se que poucos valores ficaram acima do recomendado. Na região Sul, o Aeroporto de Porto Alegre também apresentou alguns valores acima do normal.

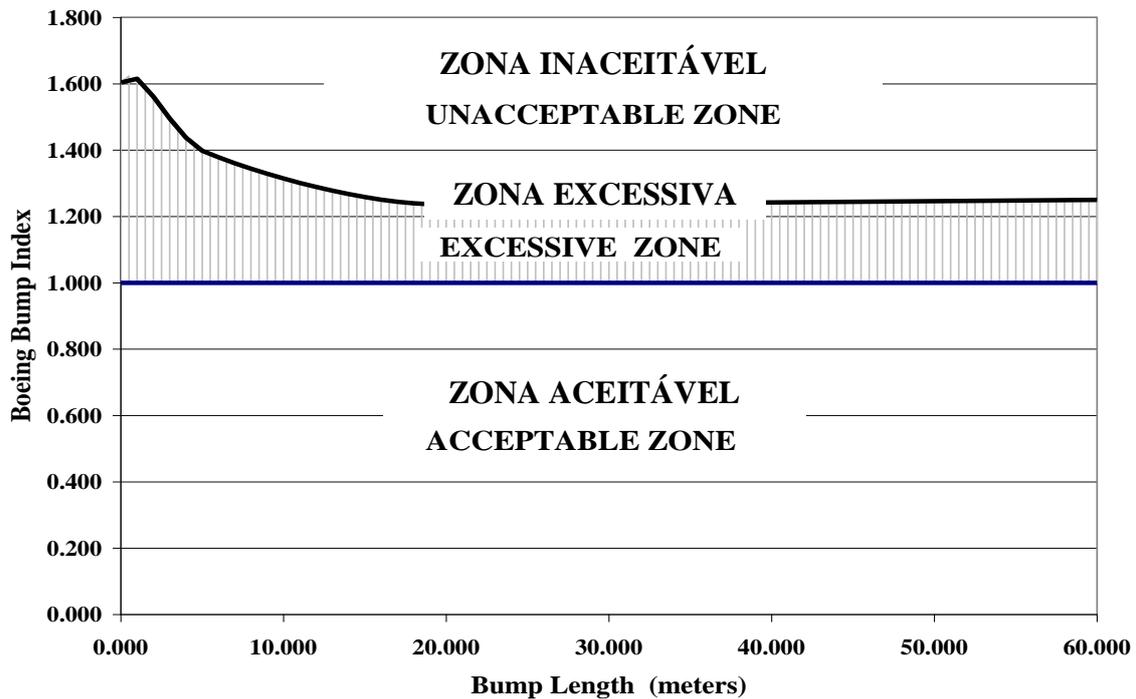
No contexto internacional, tratando-se de órgãos que monitoram a irregularidade longitudinal em pistas de pouso e decolagem, foi possível constatar durante esta pesquisa que a FAA, nos Estados Unidos, adota o parâmetro *Boeing Bump Index* (BBI), e o Transport Canada, o *Riding Comfort Index* (RCI).

FAA (2009b) afirma que as irregularidades nos pavimentos são divididas em duas categorias. A primeira categoria aborda a existência de saliências na superfície de rolamento que ocorrem ao longo de uma distância curta do pavimento na qual podem representar problemas de segurança para os sistemas de suspensão das aeronaves. A outra categoria trata sobre as irregularidades da superfície em longas distâncias do pavimento e que podem causar a fadiga precoce nos componentes da suspensão das aeronaves e desconforto ao passageiro.

Atualmente, a FAA só aborda procedimentos para identificar e avaliar os efeitos da saliência. A metodologia adotada pelo FAA para avaliar os perfis longitudinais das pistas de pouso e decolagem, consiste em medir os desvios verticais na superfície do pavimento para distâncias curtas, da ordem de 120m. O *software* desenvolvido pela FAA, denominado ProFAA, é capaz de calcular o valor máximo do BBI em cada ponto ao longo de um perfil longitudinal. O ProFAA então calcula esses valores e especifica quando qualquer local da superfície excede os limites aceitáveis nas pistas de pouso e decolagem.

A Figura 14 expressa os valores de BBI em relação ao comprimento da saliência. Quando o valor do BBI é inferior a 1.0, o pavimento situa-se na zona aceitável; valores superiores a 1.0, o pavimento situa-se em zonas de aceitação temporária, na qual é preciso adotar medidas para melhorar a superfície de rolamento.

Figura 14 – Critérios de aceitação de irregularidade pelo Boeing Bump Index.



Fonte: Adaptado de FAA (2009b).

Apesar das maneiras distintas de avaliar a superfície de pavimentos aeroportuários no que diz respeito à irregularidade longitudinal, é possível observar que existe uma correlação entre os parâmetros de BBI e IRI. Estudos realizados por Woods (2008) mostra que existe uma correlação de 94,5% entre os índices.

Outra forma de avaliação de irregularidade longitudinal, é através da análise do parâmetro designado RCI. Esse parâmetro começou a ser utilizado a partir de setembro de 2015 por Transport Canada (2015).

Segundo Transport Canada (2015), o RCI é um método subjetivo de avaliação da irregularidade de um pavimento em uma escala de 0 a 10, sendo 0 (zero) representando uma qualidade de conforto ao rolamento muito pobre e 10, uma qualidade muito boa. O RCI, no entanto, não indica a presença de irregularidades individuais de excessiva magnitude e como as aeronaves respondem às irregularidades do perfil com comprimento de onda mais longo.

Embora o RCI represente uma medida subjetiva da qualidade de rolamento, o índice dá uma indicação geral de nível médio da irregularidade do pavimento experimentada por um piloto. Para uma pista na qual trafegam aeronaves do tipo turbojato, os pilotos podem informar a existência de irregularidades quando o RCI se encontra abaixo de 5.0. A Tabela 8 apresenta as recomendações para os aeródromos canadenses baseadas nos valores de RCI.

Tabela 8 – Orientações baseadas no RCI para pistas de pouso e decolagem

Orientações para Restauração	Tráfego Turbojato	Sem Tráfego Turbojato
	Quando a média do RCI da pista for menor que	
Planejar Ação Corretiva	5.0	4.0
Realizar Ação Corretiva	4.0	3.0

Fonte: Adaptado de Transport Canada (2015).

Ainda de acordo com Transport Canada (2015) é possível relacionar os valores de IRI com os de RCI através da expressão (2):

$$RCI = 10 \times e^{(-0,255 \times IRI)} \quad (2)$$

2.4 Condições de aderência

É de conhecimento comum que os pavimentos tendem a se tornar escorregadios para pedestres e veículos quando estão molhados, inundados ou cobertos de neve, lama ou gelo. No entanto, afirma a ICAO (2012) que a compreensão plena dos efeitos físicos que causam o escorregamento, que por sua vez podem causar acidentes, é pouco conhecida. O mesmo aplica-se à operação de uma aeronave em áreas de movimento. Por esta razão, muitos trabalhos sobre questões de atrito foram produzidos dentro da comunidade da aviação desde o final da década de 1940.

A ideia de se estudar as questões relacionadas à aderência dos meios de transporte com as superfícies de rolamento tem destaque desde quando os deslocamentos ainda eram feitos com o auxílio de animais. Croney (1977) afirma que antes mesmo da introdução dos veículos motores o escorregamento nas superfícies das estradas foi importante no que diz respeito à capacidade de os cavalos manterem uma posição adequada sobre os caminhos percorridos.

Com a introdução dos veículos desenvolvendo velocidades e mecanismos de deslocamentos distintos bem superiores que os animais, verificaram-se incrementos na quantidade e na gravidade dos acidentes com derrapagens, associadas ao atrito baixo entre os pneus e os tipos de superfícies das vias urbanas em uso. Por conta disso, no início do século 19, segundo Croney (1977), intensificaram-se os estudos objetivando investigar as causas dos acidentes envolvendo as derrapagens de veículos, bem como as medidas necessárias ao controle e a manutenção das vias para garantir uma adequada resistência à derrapagem.

Ao longo de todo o século seguinte diversas pesquisas foram conduzidas e alguns conceitos relacionados à aderência entre pneus e superfícies de pavimentos foram apresentados. Giles (1957), por exemplo, desenvolveu diversos critérios de resistência à derrapagem para diferentes tipos de superfícies, baseados nos testes realizados nos locais de pista molhada onde a polícia reportava acidentes. Alguns desses critérios foram simplificados no trabalho de Sabey (1968) e recomendados como valores adequados da resistência à derrapagem, servindo como guia dos programas de manutenção das vias.

No contexto aeroportuário, a preocupação com relação à aderência entre pneus das aeronaves e as superfícies das pistas de pouso e decolagem, ocorreu por parte das autoridades aeronáuticas e da indústria do transporte aéreo, sobretudo pelo expressivo desenvolvimento das modernas aeronaves de passageiros e de cargas que necessitavam de pistas mais seguras para as suas operações.

Conforme ICAO (2012), no início de 1950, os requisitos de aderência em aeródromos onde havia operação de aeronaves a jato foram discutidas, incluindo a necessidade de garantir que as pistas possuíssem razoáveis características de atrito na superfície para proporcionar frenagens eficientes.

A partir de então, especificações foram elaboradas para inclusão nos anexos técnicos à Convenção da Aviação Civil Internacional, definindo aos estados membros referências para operações em pistas secas e molhadas. Mais recentemente, tendo em conta os desenvolvimentos históricos, foi considerado oportuno para a ICAO desenvolver especificações internacionais sobre as funções, os princípios básicos e as características técnicas e operacionais dos dispositivos de medição do atrito.

Com a introdução de aeronaves turbojato, com maiores pesos, dimensões e grandes velocidades de deslocamento, o desempenho da frenagem sobre os pavimentos, conforme FAA (1997), tornou-se ainda mais crítico. Sob certas condições, aquaplanagens ou perdas de contato dos equipamentos podem ocorrer, resultando no desempenho deficiente da frenagem com possíveis perdas de controle direcional das aeronaves.

Considerando esse novo cenário, no início dos anos 70, ainda de acordo com a FAA (1997), numerosos estudos em pistas de pouso e decolagem foram conduzidos pela *National Aeronautics and Space Administration* – NASA, pela *Federal Aviation Administration* – FAA, pela *United States Air Force* – USAF e por diversos governos estrangeiros com o intuito de apresentar resultados referentes à padronização de avaliação e de elaboração de projetos de superfícies de alta resistência à derrapagem, bem como a aplicação de procedimentos e técnicas apropriadas de manutenção.

Thom (2010) assegura que a resistência à derrapagem é um problema crítico de segurança em pavimentos aeroportuários, devendo ser medido regularmente, particularmente em condições climáticas adversas. As superfícies das pistas de pouso e decolagem, por conseguinte, têm de ser suficientemente texturizadas quando construídas, devendo possuir alta resistência à derrapagem.

Assim, o efetivo contato entre os pneus das aeronaves e os revestimentos das pistas de pouso e decolagem é de suma importância para a garantia de segurança das operações de pousos e decolagens em qualquer aeroporto, independente do seu tamanho e da sua complexidade. Essa garantia deve ser contínua e persistir, inclusive, quando os revestimentos estiverem molhados.

ICAO (2002), FAA (2007) e Kazda e Caves (2007) garantem que a textura das superfícies dos pavimentos aeroportuários é caracterizada pela microtextura e pela macrotextura. Isso pelo fato de que esses são os dois elementos que proporcionam características antiderrapantes à superfície dos pavimentos, sendo fundamentais para o coeficiente de atrito e, por consequência, do processo de aderência pneu-pavimento.

Para Transport Canada (2004), ambas as características de micro e macrotextura de uma superfície podem afetar significativamente os valores de atrito medidos das pistas de pouso e decolagem, constituindo-se em pré-requisitos essenciais para a manutenção de níveis satisfatórios de atrito.

A microtextura, segundo Mallick e El-Korchi (2009) e Fernandes (2010), é função específica da superfície dos agregados individualmente, proporciona atrito em operações de baixas velocidades, como nos deslocamentos (taxiamentos) das aeronaves após os pousos, e ao fazer contato entre o pneu e a água residual da chuva. Neste trabalho não será enfatizada a questão da microtextura por considerar ser parâmetro dispensável para a análise das condições de aderência das operações de pousos e decolagens, ocorridas em altas velocidades.

A macrotextura, formada pelo conjunto ligante e agregado, por sua vez, proporciona maior drenagem da água presente na superfície dos pavimentos aeroportuários, na visão da ICAO (2002), reduzindo a tendência dos pneus das aeronaves de experimentar o fenômeno da aquaplanagem. Mallick e El-Korchi (2009) asseguram que a macrotextura é de suma importância para as altas velocidades desenvolvidas pelas aeronaves nas operações de pousos e decolagens, além de providenciar a drenagem durante as ocorrências de chuvas.

Sendo a macrotextura o principal responsável pela drenagem ativa da água da superfície dos pavimentos aeroportuários, Oliveira e Nobre Júnior (2009) ressaltaram a preocupação com a conservação permanente da macrotextura com relação à impregnação de

dejetos, sobretudo a borracha proveniente dos pneus das aeronaves, uma vez que esse contaminante pode preencher as ranhuras naturais da macrotextura e, dessa forma, não permitir o adequado escoamento da água, favorecendo os eventos de aquaplanagem. Nesse sentido, ANAC (2012b) chama a atenção dos operadores de aeródromo para o monitoramento periódico do acúmulo de borracha por meio de metodologia de medição própria e para a frequência mínima de remoção da borracha acumulada.

Apesar de existirem ensaios recomendados por ICAO (2002) e FAA (1997), a medição da macrotextura em pavimentos aeroportuários tem ocorrência mais frequente através da aplicação do ensaio da mancha de areia. Nesse método de ensaio espalha-se, de modo uniforme e em movimentos circulares, um volume conhecido de areia sobre uma área da superfície do pavimento da pista de pouso e decolagem, determinando-se a distância média entre os picos e vales na macrotextura do pavimento, ou seja, a sua profundidade, mediante a divisão do volume de areia pela área (circular) de espalhamento. A metodologia é ilustrada na sequência da Figura 15. Apesar do ensaio da mancha de areia ser o mais difundido para a obtenção da macrotextura existem outros, tais como: medida contínua com laser e métodos baseados no processo de interpretação de imagens digitais, conforme Brosseau (2006).

Figura 15 – Execução do ensaio de mancha de areia para obtenção da macrotextura.



Fonte: Oliveira (2009).

A profundidade da macrotextura da superfície dos pavimentos aeroportuários, na opinião de Fonseca (1990), é um dos fatores que mais afetam a resistência à derrapagem de

aeronaves em superfícies molhadas, pois possibilita maior ou menor perda de energia ao contato com os pneus. A macrotextura dos pavimentos asfálticos com a idade, geralmente diminui devido aos efeitos do desgaste proporcionado pelas operações e à perda gradual de material fino das superfícies dos revestimentos, segundo Transport Canada (2004),

Quanto à sua classificação, a profundidade da macrotextura pode ser considerada desde muito fechada, quando a profundidade da mancha de areia (P) possui valores menores ou iguais a 0,2mm, até muito aberta, para valores superiores a 1,2mm. A classificação completa da profundidade da macrotextura pode ser encontrada na Tabela 9 (ANAC, 2012b).

Tabela 9 – Profundidade da macrotextura.

Profundidade – P (mm)	Classificação
$P \leq 0,2$	Muito Fechada
$0,2 < P \leq 0,4$	Fechada
$0,4 < P \leq 0,8$	Média
$0,8 < P \leq 1,2$	Aberta
$P > 1,2$	Muito Aberta

Fonte: ANAC (2012b)

A maior parte das agências reguladoras ou operadores de aeródromos recomenda valores de macrotextura, geralmente entre as profundidades média e aberta, para os operadores de aeródromos utilizarem como referência nas suas estratégias de manutenção dos pavimentos. ANAC (2012b), por exemplo, recomenda profundidade média maior ou igual a 0,60mm. Os parâmetros normativos brasileiros e os principais internacionais serão tratados neste trabalho no próximo subitem.

No que diz respeito às condições de atrito, Mallick e El-Korchi (2009) são de opinião favorável de que um atrito adequado é fornecido no acabamento da superfície dos revestimentos dos pavimentos, bem como mediante um controle regular das atividades de manutenção. De acordo com Oliver, Speir e Rada (1998), o essencial é manter o atrito das pistas de pouso e decolagem em níveis aceitáveis para garantir a segurança das operações e evitar as restrições nas operações das aeronaves, bem como monitorar seus valores regularmente usando os equipamentos aprovados pela ICAO (2004).

O propósito da avaliação periódica da resistência à derrapagem de um pavimento aeroportuário, na visão de Sun, Kan e Ji (2004), é determinar o potencial da superfície do pavimento, contribuir para a redução dos incidentes de derrapagem ou aquaplanagem de aeronaves e apresentar recomendações para o aumento da capacidade de atrito.

Para Broten e Zimmerman (1998), características de rugosidade e atrito são elementos importantes para a compreensão da condição geral dos pavimentos aeroportuários e precisam ser reconhecidas como parte do processo de gestão de pavimento. A avaliação de segurança de um pavimento, conforme Haas e Kazmierowski (1998) pode envolver a identificação de inúmeros defeitos na superfície e nas camadas, mas é geralmente o atrito de superfície que se constitui o principal elemento.

Em alguns casos, conforme recomenda Oliver, Speir e Rada (1998), baixos valores de atrito podem ser o ponto de partida para ações de manutenção e reabilitação dos pavimentos aeroportuários. Por isso é imprescindível observar as condições da superfície desses pavimentos, que podem ter os valores de atrito modificados por diversos fatores, tais como tempo, tráfego, tipo de agregado e textura.

O atrito é caracterizado pelo seu coeficiente. Na definição da ICAO (2002), tem-se que o coeficiente de atrito é a relação entre a força tangencial necessária para manter um movimento relativo uniforme entre as superfícies dos pneus da aeronave e do pavimento e a força perpendicular, ou seja, o peso distribuído do avião sobre a área dos pneus que as mantêm em contato.

Wells e Young (2004) afirmam que o atrito da superfície das pistas de pouso e decolagem permite que as aeronaves acelerem durante o procedimento de decolagem, assim como desacelerem seguramente após o pouso. A ausência de um efetivo coeficiente de atrito nessas pistas de pouso e decolagem proporciona ocorrências de derrapagem, deslizamento ou aquaplanagem, com a consequente perda de controle das aeronaves na superfície.

O coeficiente de atrito, na opinião de Fonseca (1990), é o resultado da ação combinada da microtextura e da macrotextura. Para Kazda e Caves (2007), o efeito da textura das superfícies sobre o coeficiente de atrito das pistas aeroportuárias depende da velocidade das aeronaves e das características de drenagem dos pavimentos.

Informações da ICAO (2002) mostram que os incidentes ou acidentes relacionados à saída ou derrapagem de aeronaves das pistas de pouso e decolagem, indicam que, na maioria dos casos, a causa principal, ou pelo menos um dos fatores contribuintes, foram as características de atrito sobre a eficácia dos freios das aeronaves. No que diz respeito à localização das áreas nas pistas monitoradas, bem como a frequência mínima de medição do coeficiente de atrito nessas pistas, dependem das condições operacionais dos aeródromos. Parâmetros como os tipos de aeronaves e a quantidade média de pousos diários anuais são determinantes.

De acordo com CAA (2008), as medições de atrito são especificadas para todas as pistas de pouso e decolagem que servem os aviões a jato, pois os maiores pesos e velocidades dessas aeronaves, em comparação com as de turboélice, fazem o desempenho de frenagem nas superfícies das pistas, principalmente quando molhadas, uma preocupação significativa.

Outrossim, CAA (2008) e Transport Canada (2004) são de acordo que especial atenção deve ser dada às medições das características de atrito das pistas de pouso e decolagem que servem aviões turboélice pesados (com pesos operacionais de aproximadamente 125.000 kg ou mais), uma vez que essas aeronaves possuem exigências de distâncias de pousos e decolagens próximas dos limites de comprimento de pista disponível.

Autoridades aeronáuticas e aeroportuárias em todo o mundo, tais como FAA nos Estados Unidos, *Transport Canada*, do Governo do Canadá, ANAC, no Brasil, *Civil Aviation Authority of New Zeland*, na Nova Zelândia, dentre outras especificam seus requisitos de obtenção dos valores de coeficiente de atrito com base nas informações anteriores, assim como nos equipamentos especificados pela ICAO.

Apesar disso, o Transport Canada (2004), por exemplo, informa que a frequência ideal para medições de atrito das pistas exige a avaliação de muitos fatores específicos, incluindo, as características de microtextura e macrotextura; a presença, extensão e severidade dos contaminantes na superfície, em especial a borracha desprendida dos pneus das aeronaves, bem como o planejamento de sua remoção; a existência de defeitos superficiais, a existência de recentes construções para substituição da camada da superfície e o reporte de tripulações sobre níveis baixos de atrito sentidos durante a frenagem das aeronaves.

Um parâmetro internacional que avalia os requisitos de atrito e de textura superficial das pistas aeroportuárias e o expõe num único fator é o denominado Índice Internacional de Atrito (*International Friction Index – IFI*). Para sua obtenção, segundo explica Aps (2006), é necessária a realização de ensaios com qualquer equipamento ou técnica, a partir de critérios estabelecidos no experimento internacional, utilizando, por exemplo, o pêndulo britânico (para microtextura) e a mancha de areia (para macrotextura).

Para efeito de análise das condições de aderência, o que se aplica especificamente ao Brasil, a partir de recomendações ANAC (2012b) aos operadores de aeródromos civis que operam transporte aéreo público regular, ou, em face da complexidade da operação aeroportuária ou do risco à segurança operacional aos aeródromos civis que não operem voo regular, será descrito no próximo subitem.

2.4.1 Evolução dos requisitos normativos brasileiros de aderência

A regulação brasileira sobre aderência vem sendo modificada de modo a se manter alinhada com as orientações da ICAO. Nesse aspecto, houve, nos últimos cinco anos, significativos ajustes aos parâmetros regulatórios. Até maio de 2009 vigorou a Instrução de Aviação Civil - IAC 4302 (DAC 2001), a qual é oriunda do então Departamento de Aviação Civil – DAC, do Comando da Aeronáutica Brasileiro. Essa Instrução estabelecia requisitos de resistência à derrapagem para os operadores de aeródromos, incluindo orientações sobre as medições de atrito e de textura superficial.

Quanto à aplicabilidade, a IAC 4302 (DAC, 2001) era compulsória para todos os operadores de aeródromos que operavam voos regulares e recomendada para os demais, nas frequências estabelecidas na Tabela 10.

Tabela 10 – Frequência das medições do coeficiente de atrito e macrotextura.

Pousos diários de aeronaves à reação na pista	Frequência das medições de atrito	
	Pavimentos não Estriados (Sem Tratamento Superficial)	Pavimentos Estriados ou Com Camada Porosa de Atrito
Menos de 50	Cada 12 meses	Cada 12 meses
51 a 250	Cada 6 meses	Cada 9 meses
251 a 450	Cada 4 meses	Cada 6 meses
451 a 700	Cada 3 meses	Cada 4 meses
701 ou mais	Cada 3 meses	Cada 3 meses

Fonte: (DAC, 2001)

Em DAC (2001), a frequência de medição da textura do pavimento era a mesma do coeficiente de atrito, sendo que o operador de aeródromo poderia utilizar tanto o método da mancha de areia quanto o método da mancha de graxa, o que melhor lhe conviesse. Já as medições do coeficiente de atrito eram realizadas apenas com o uso do equipamento de medição contínua *Mu-Meter*, na velocidade de 65km/h, contendo sistema de espargimento de água capaz de induzir a formação de uma lâmina de água de 1,0mm de profundidade.

As medições de atrito eram realizadas a 3,0m do eixo da pista, em ambos os sentidos, devendo os resultados ser aceitos se apresentassem valores médios superiores a 0,50, considerando uma extensão maior que 100 metros. Na hipótese de valores médios menores que 0,50, o operador de aeródromo deveria solicitar a expedição de NOTAM – *Notice to Airman* –, informando que a pista se encontrava escorregadia quando molhada. Além disso,

deveria iniciar, prontamente, as ações corretivas apropriadas visando restaurar o nível de atrito exigido.

Os resultados da macrotextura não deveriam ser inferiores a 0,50mm, sendo necessária ação corretiva apropriada toda vez que esse nível não fosse alcançado. Nos casos de pavimentos novos, a profundidade da macrotextura recomendada era de 1,0mm.

Durante o período no qual a IAC 4302 vigorou, o DAC apenas procedia ao acompanhamento dos resultados das pistas de pouso e decolagem dos aeroportos administrados pela INFRAERO, a estatal que administrava os aeródromos mais importantes do país, o que correspondia a 66 aeroportos.

Com o advento da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, em 2005, esta ficou responsável por todas as atividades até então desempenhadas pelo DAC no que se refere ao acompanhamento e orientações normativas no tocante à aderência em pistas de pouso e decolagem. Assim, a ANAC absorveu essas atividades e as passou a exercer sobre o enfoque civil, ou seja, não mais gerenciadas por militares, mas por servidores civis – como ocorre com a maioria das autoridades de aviação civil do mundo.

Com o desenvolvimento de novos equipamentos de medição de atrito pela indústria, a publicação de novos documentos pela ICAO e os ajustes nos atos normativos das principais autoridades de aviação civil do mundo, houve necessidade de um alinhamento da regulação brasileira com os regulamentos dessas outras autoridades. Porém, em face do processo de gestão da mudança pela qual atravessou a aviação civil brasileira, apenas em 2009 houve uma atualização do ato normativo que estabelecia os requisitos para resistência à derrapagem em pistas de pouso e decolagem, o qual ocorreu por meio da Resolução nº 88 (ANAC, 2009).

ANAC (2009) modificou alguns requisitos da IAC 4302, inovando-a em alguns aspectos, dentre os quais se destacam:

- a) inserção de novos equipamentos de medição de atrito e seus respectivos parâmetros;
- b) inclusão das velocidades de 65km/h e 95km/h para realização das medições de atrito, a critério do operador do aeródromo;
- c) necessidade de realizar as medições de atrito a 3,0m e a 6,0m do eixo da pista de pouso e decolagem para aeródromos com operação de aeronaves códigos D, E ou F (ver Anexo 2 desta Tese, extraído de ICAO (2004));
- d) alteração da frequência de medição de atrito e de textura dos pavimentos;
- e) parâmetros mínimos de coeficiente de atrito para pavimentos novos;

- f) parâmetros mínimos de coeficiente de atrito para o nível de manutenção (onde o operador de aeródromo deve evidenciar ações que visam impedir que o atrito atinja o nível mínimo aceitável) em função do equipamento utilizado;
- g) parâmetros de nível mínimo aceitável (onde são necessárias ações corretivas visando reestabelecer os níveis exigidos) em função do equipamento utilizado;
- h) avaliação dos resultados das medições de atrito em trechos de, no máximo, 100m, o que difere de DAC (2001), que era de, no mínimo, 100m;
- i) estabelecimento do prazo de 5 dias após a conclusão do teste para o envio dos relatórios à agência reguladora; e
- j) condicionantes para a reabertura ao tráfego aéreo após a realização de obra ou serviço em pistas de pouso e decolagem.

Nota-se, portanto, significativas modificações inseridas na regulação brasileira no que se refere à avaliação das condições de aderência em pistas de pouso e decolagem.

A Tabela 11 apresenta a lista dos novos equipamentos que foram incluídos em ANAC (2009) de forma a possibilitar sua utilização pelos operadores de aeródromo. Já a Tabela 12 apresenta a nova frequência de medição de atrito e macrotextura exigida desses operadores.

Tabela 11 – Parâmetros de coeficientes de atrito por tipo de equipamento de medição.

Equipamento	Pneu		Velocidade do ensaio (km/h)	Profundidade da lâmina de água simulada (mm)	Coeficiente de atrito		
	Tipo	Pressão (kPa)			Pavimentos Novos	Nível de manutenção	Nível mínimo
Mu-Meter	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Skiddometer	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Surface friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Runway friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
Tatra	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42
Grip tester	C	140	65	1,0	0,74	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,64	0,36	0,24

Fonte: Adaptado de ANAC (2009).

Tabela 12 – Frequência das medições do coeficiente de atrito e macrotextura.

Pousos diários de aeronaves na pista	Frequência mínima de medições de atrito e macrotextura
Menos de 15	Cada 360 dias
16 a 30	Cada 180 dias
31 a 90	Cada 90 dias
91 a 150	Cada 30 dias
151 a 210	Cada 15 dias
Mais de 210	Cada 7 dias

Fonte: Adaptado de ANAC (2009).

Avançando na fiscalização do cumprimento dos requisitos da Resolução nº 88, a ANAC passou a efetuar um monitoramento sistemático de mais de 80% dos aeródromos que operam voo regular, que atualmente alcança aproximadamente 140 aeródromos no Brasil, segundo dados da própria agência reguladora.

No entanto, a Resolução nº 88 continha alguns requisitos que geravam dúvidas frequentes nos operadores de aeródromos. Como exemplo, havia dúvidas se aeronaves de asas rotativas deveriam ser consideradas no cálculo do número de pousos para determinação da frequência de medição. Também havia dúvidas sobre o período que deveria ser considerado para calcular o número de pousos na pista, ou seja, se era de 1 ano, 2 anos etc. Outras dúvidas abordavam a execução de pavimentos novos, onde era questionado se nesses casos os parâmetros constantes na resolução eram compulsórios ou de orientação, face às dificuldades de se encontrar materiais com qualidades tão excepcionais em algumas regiões do Brasil, principalmente na região Norte. Essa última observação inclusive vem sendo objeto de discussão nos Grupos de Trabalho internos da ICAO, onde a ANAC mantém representantes na função de Membro e Assessor.

Com base no exposto, e com vistas a esclarecer todos esses questionamentos apresentados por parte dos regulados, a ANAC publicou, em junho de 2012, um novo ato normativo. A Resolução nº 236 (ANAC 2012b) revogou as duas normas até então vigentes – IAC 4302 e Resolução nº 88 – e trouxe novas orientações quanto aos procedimentos para medição do coeficiente de atrito e da macrotextura, dentre os quais se destacam:

- a) a obrigação de se realizar medições de atrito e macrotextura em todos os aeródromos públicos que operam voo regular, podendo o órgão regulador estender tal obrigação também para os aeródromos que não operem voo regular, em função da complexidade das operações aeroportuárias ou do risco à segurança operacional;

- b) a orientação que para o cálculo do número de pousos na pista de pouso e decolagem deve-se avaliar a média diária do ano anterior;
- c) o cálculo deve ser realizado avaliando cada cabeceira separadamente, devendo a cabeceira que apresentar a maior média no número de pousos no ano anterior ser considerada principal e ponto de partida para as medições de atrito. Além disso, é a média diária de pousos na cabeceira principal que irá determinar a frequência de medição de atrito e macrotextura nessa pista do aeródromo. Vale ressaltar que nos regulamentos anteriores era considerado o número total de pousos na pista, e não o quantitativo por cabeceira separadamente;
- d) a exclusão de requisitos mais exigentes para pavimentos novos, uma vez que o órgão regulador firmou entendimento que tal medida implicaria em custos adicionais na dosagem do traço do concreto asfáltico para o operador do aeródromo, fato que não deve ser objeto de interferência da agência reguladora, mas deixando por conta dos regulados o gerenciamento dos seus recursos financeiros e a gestão dos seus pavimentos, incorrendo esses em penalidades e até suspensão das operações no aeródromo na hipótese de, em algum lugar no tempo, os requisitos do órgão regulador não serem mais atendidos;
- e) a inclusão de tolerância de 2,5% sobre os valores obtidos para o coeficiente de atrito, uma vez que, como qualquer outro equipamento de medição, os medidores de atrito também apresentam certo erro embutido em suas leituras, sendo essa tolerância inexistente nos regulamentos dos órgãos de aviação civil dos Estados Unidos (FAA), Austrália (CASA), Reino Unido (CAA) e Canadá (Transport Canada);
- f) a possibilidade dos aeródromos que possuem frequência de medição de atrito de 7 e 15 dias realizarem tais medições nas frequências de 15 e 30 dias, respectivamente, na hipótese das quatro últimas medições de atrito apresentarem valores de coeficiente de atrito superior ao nível de manutenção (Tabela 13 e Tabela 14), privilegiando o operador do aeródromo que realmente faz um gerenciamento de pavimento efetivo;
- g) a extensão de 5 para 15 dias do prazo para que os operadores de aeródromos encaminhem à ANAC o relatório com os resultados das medições de atrito e macrotextura, permitindo uma avaliação mais detalhada e um documento melhor elaborado por parte dos regulados;

Tabela 13 – Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição.

Equipamento	Pneu		Velocidade do ensaio (km/h)	Profundidade da lâmina de água simulada (mm)	Coeficiente de atrito	
	Tipo	Pressão (kPa)			Nível de manutenção	Nível mínimo
Mu-Meter	A	70	65	1,0	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,38	0,26
Skiddometer	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,47	0,34
Surface friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,47	0,34
Runway friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,54	0,41
Tatra	B	210	65	1,0	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,52	0,42
Grip tester	C	140	65	1,0	0,53	0,43

Fonte: Adaptado de ANAC (2012b).

Tabela 14 – Frequência mínima de medições de atrito.

Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato (média do último ano)	Frequência mínima de medições de atrito
Menos de 15	Cada 360 dias
16 a 30	Cada 180 dias
31 a 90	Cada 90 dias
91 a 150	Cada 30 dias
151 a 210	Cada 15 dias
Mais de 210	Cada 7 dias

Fonte: Adaptado de ANAC (2012b).

h) a frequência diferenciada para as medições de macrotextura – conforme Tabela 15 – de forma a impactar minimamente as operações nos aeródromos, uma vez que grande parte dos aeródromos brasileiros dispõe de apenas uma única pista de pouso e decolagem, e sem que a segurança seja afetada, uma vez que também foi inserido em ANAC (2012b) uma frequência mínima para remoção de borracha, fato até então inexistente nos regulamentos anteriores (Tabela 16);

Tabela 15 – Frequência mínima de medições de macrotextura.

Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato (média do último ano)	Frequência mínima de medições de macrotextura
Menos de 15	Cada 360 dias
16 a 30	Cada 180 dias
31 a 90	Cada 90 dias
91 a 150	Cada 60 dias
151 a 210	Cada 45 dias
Mais de 210	Cada 30 dias

Fonte: Adaptado de ANAC (2012b).

Tabela 16 – Frequência mínima de remoção do acúmulo de borracha.

Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato (média do último ano)	Frequência mínima de remoção de borracha
Menos de 15	Cada 720 dias
16 a 30	Cada 360 dias
31 a 90	Cada 180 dias
91 a 150	Cada 120 dias
151 a 210	Cada 90 dias
Mais de 210	Cada 60 dias

Fonte: Adaptado de ANAC (2012b).

- i) a alteração do valor da profundidade média da macrotextura para 0,60mm (antes de 0,50mm), utilizando exclusivamente o método da mancha de areia; e
- j) a definição clara das penalidades as quais os operadores de aeródromos se sujeitam na hipótese de descumprimento dos requisitos do ato normativo.

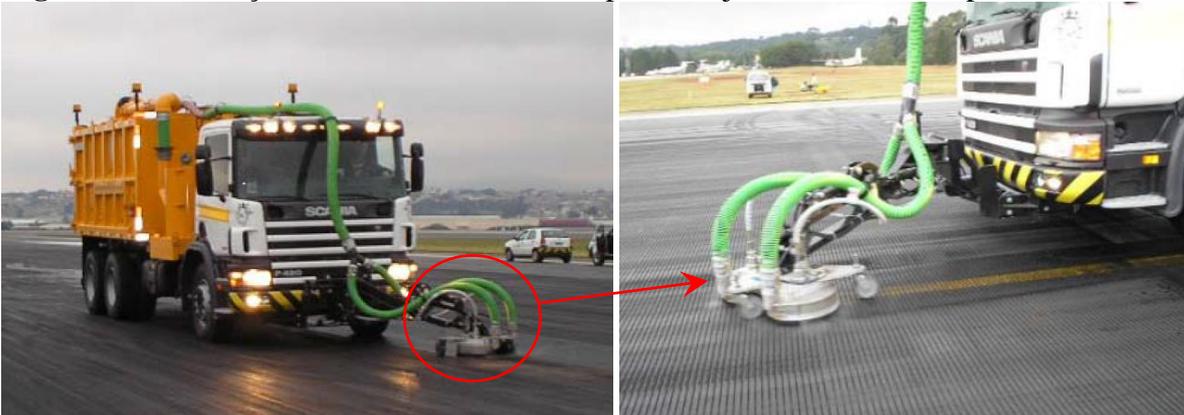
A remoção da borracha acumulada, conforme exemplos da Figura 16, pode ocorrer através de diversos processos, segundo recomendações da ICAO (2002): solventes químicos, ar comprimido quente, hidrojateamento de alta pressão, conforme mostra a Figura 17, e solventes químicos e jato de água de alta pressão concomitantemente. A FAA (2007), além daqueles explicitados anteriormente, recomenda a aplicação dos seguintes métodos: impacto de velocidade (*shotblasting*) e remoção mecânica.

Figura 16 – Acúmulo de borracha em pista de pouso e decolagem.



Fonte: Oliveira e Nobre Júnior (2009).

Figura 17 – Remoção de borracha acumulada por hidrojetamento de alta pressão.



Fonte: Gomes (2009)

No Brasil, a ANAC tem construído seus regulamentos com base nas orientações constantes nos documentos elaboradas pela ICAO. Naturalmente, há diferenças entre os regulamentos das autoridades de aviação civil no mundo, com destaque para a FAA (Estados Unidos) e a CAA (Reino Unido), no tocante à aderência em pavimentos.

No Reino Unido, o regulamento CAA (2004) não prevê medição da profundidade da macrotextura, bem como a utilização apenas do *Mu-Meter* (Figura 18) e do *Grip Tester* (Figura 19) como equipamentos para medições de atrito. Tais medições são realizadas paralelamente ao eixo da pista, mas em distâncias pré-determinadas que variam em função da largura da pista. Outro requisito diferente da norma brasileira é que no Reino Unido há apenas duas frequências de medição: (i) 11 meses, para aeródromos cujo movimento diário na pista de pouso e decolagem seja inferior a 400; e (ii) 5 meses, para aeródromos cujo movimento diário seja superior a 400.

Figura 18 – Equipamento Mu-Meter para medição de atrito.



Fonte: Douglas Equipment (2008).

Figura 19 – Equipamentos Grip Tester para medição de atrito.



Fonte: Dynatest (2014c)

O regulamento do FAA é semelhante à norma brasileira no quesito frequência e equipamentos de medição de atrito, mas não contém frequência específica para medições da profundidade da macrotextura. Além disso, a FAA possui normas específicas para manutenção de pavimentos, as quais estabelecem requisitos desde os tipos de materiais e traço a ser empregados até padrões para confecção e avaliação da eficiência do *grooving* – ranhuras transversais feitas nas pistas de pouso e decolagem para facilitar a drenagem da água superficial (FAA, 1997).

Sobre a eficiência do *grooving*, pesquisas feitas nas pistas de pouso e decolagem dos aeroportos Santos Dumont, no Rio de Janeiro, Congonhas, em São Paulo, e *London City*, em Londres, por London (2009), mostram que pistas tratadas com *grooving* permitem uma grande melhoria nas operações das aeronaves, principalmente no aumento da distância de frenagem na pista quando molhada. Para tanto, é imprescindível que o *grooving* seja mantido adequadamente.

Considerando que nos aspectos relacionados à condição de aderência dos pavimentos aeroportuários uma das preocupações fundamentais durante as operações de pousos e decolagens é a perda de controle direcional das aeronaves, e esta ocorrência se dá, principalmente, pela presença de contaminantes (depósito de borracha, água, neve, gelo, areia, óleo, lama ou qualquer outra substância que prejudique o desempenho das aeronaves), a ANAC (2012a) afirma que o operador do aeródromo deve manter a pista de pouso e decolagem livre de desníveis, depressões ou deformações que alterem suas declividades transversais ou longitudinais originais, que propiciem o acúmulo de água.

Essa questão foi uma das evoluções da normativa brasileira no que diz respeito às questões de aderência. ANAC (2012a) indica que se a profundidade média do acúmulo de água exceder 3,0mm numa região de 150m de comprimento pela largura da pista, o operador do aeródromo deve providenciar ações corretivas nessa região a fim de garantir que a pista tenha drenagem suficiente para não acumular água.

Ressalte-se que não há recomendação semelhante em ANAC (2012a) destinada às pistas de taxiamento. Para estas, a indicação é para que o operador do aeródromo mantenha a diferença de nível entre áreas pavimentadas e não pavimentadas inferior a 8cm e 30° de inclinação.

2.5 Modelos de apoio à tomada de decisão

A tomada de decisão sobre a seleção da melhor ou mais adequada estratégia de manutenção e reabilitação a ser implementada em pistas de pouso e decolagem é tarefa de grande complexidade e responsabilidade para o operador de aeródromo, pois existem inúmeros parâmetros de análise. Assim, modelos de apoio à tomada de decisão são ferramentas de auxílio essenciais no processo de seleção das estratégias.

De acordo com Gomes (2001), existe um campo do conhecimento concebido na época da Segunda Guerra Mundial denominado Pesquisa Operacional, na qual apareceram as metodologias de Apoio Multicritério à Decisão. Desde sua concepção, essas metodologias ajudam as pessoas a estruturar e a analisar processos de tomada de decisão.

Na década de 70, ainda conforme Gomes (2001), vários pesquisadores e usuários de pesquisa operacional notaram que as decisões nunca se dão visando apenas um critério, mas sim na presença de pelo menos dois critérios conflitantes. Em decorrência disso, surgiram

as metodologias de Apoio Multicritério à Decisão, compreendendo vários princípios e métodos para dar apoio à tomada de decisão num ambiente considerado complicado.

São diversos os métodos existentes que se utilizam das metodologias multicritério segundo Almeida (2006). Na escola americana os principais métodos são: Teoria da Utilidade Multiatributo - MAUT (*Multi Attribute Utility Theory*) e o Método de Análise Hierárquica - MAH (*Analytic Hierarchy Process - AHP*). Na escola francesa os principais métodos são: ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e o PROMÉTHÉE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*). Podem ainda ser citados os métodos: MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*), o TOPSIS (*Tecniqe for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*), o ANP (*Analytic Network Process*) e o FDA (*Fuzzy Decision Approach*).

Paula e Cerri (2012) afirmam que o uso do MAH permite obter respostas mais coerentes do que aqueles obtidos sem o emprego do método, dado que o MAH prevê a realização de teste para verificar se o julgamento do especialista é logicamente coerente, por meio da análise da Razão de Consistência – RC.

Segundo Murakami (2003), o MAH, em síntese, assume que um conjunto de critérios tenha sido estabelecido, e que está tentando estabelecer um conjunto normalizado de pesos para ser usado quando as alternativas que usam critérios estejam sendo comparadas. Envolve três fases para resolver o problema de decisão:

- a) Decomposição: nesta fase, pede-se a construção de uma rede hierárquica para representar um problema de decisão, representando o topo, o objetivo global e os mais baixos níveis representam os critérios, subcritérios e alternativas;
- b) Julgamentos comparativos: solicita-se aos participantes do grupo de decisão a construção da matriz de comparação em cada hierarquia comparando pares de critérios e subcritérios. É apresentado nessa etapa uma balança de valores que variam de 1 (indiferença) a 9 (preferência extrema) para expressar a preferência de cada componente do grupo de discussão;
- c) Síntese de prioridades: é a fase de calcular um peso composto para cada alternativa baseada em preferências derivadas da matriz de comparação.

Provavelmente a maior dificuldade em uma tomada de decisão é escolher os fatores importantes para essa decisão, na visão de Saaty (1990). No MAH, é feita a organização desses fatores, uma vez selecionados, em uma estrutura hierárquica descendente onde há um objetivo geral de critérios, subcritérios e alternativas em sucessivos níveis.

O maior benefício do MAH é a simplificação do problema em partes menores, que permite um maior domínio da situação como um todo, sintetizando a experiência e o conhecimento do tomador de decisão através dos vetores de suas preferências, apontando a melhor alternativa (Nunes Junior, 2006). Esta vantagem deve ser respaldada por uma sólida experiência e conhecimento do tomador de decisão a respeito do problema decisório. O despreparo do tomador de decisão pode levar a uma hierarquia mal estruturada, indicando uma alternativa errônea como a melhor solução. Neste caso a utilização de um especialista no assunto seria a ideal, pois a sua experiência seria imprescindível para viabilizar o MAH.

Segundo Nascimento (2010), o MAH organiza o problema de decisão em hierarquia, onde no primeiro nível está o objetivo global; seguido pelos critérios, no segundo nível; pelos subcritérios, no terceiro e pelas alternativas no último.

Os agentes tomadores de decisão, afirma Soares (2006), possuem geralmente, pontos de vista divergentes e diferentes juízos de valor. Os métodos multicritérios de análise de decisão aparecem como uma ferramenta à gestão das infraestruturas de transportes, onde as diversas variáveis envolvidas, um grande número de dados, interações e objetivos referentes a essas diversidades sejam avaliados de forma integrada, mostrando que a percepção da necessidade de mudanças pode ser atribuída a um processo de tomada de decisão, refletindo, de maneira suficientemente estável, o juízo de valores dos tomadores de decisão.

A escolha do método multicritério depende do tipo de problema a ser resolvido, conforme Miranda (2008). O MAH tem total influência do tomador de decisão, pois é ele quem dá as notas em todos os critérios avaliando as alternativas aos pares. Sendo avaliados dessa forma, há a possibilidade de algum critério ter sua importância invertida, podendo dessa maneira surgir uma inconsistência no resultado. Isso pode ocorrer por vários motivos, como: a falta de informação e até mesmo um lapso durante a modelagem do problema.

Existem princípios axiomáticos bem estabelecidos e vários métodos analíticos do Apoio Multicritério à Decisão, segundo Gomes (2001). Todos eles utilizam informações que vêm de diferentes agentes de decisão e buscam auxiliar a tomada de decisão. O que os métodos analíticos do Apoio Multicritério à Decisão fazem é, através de princípios axiomáticos bem estabelecidos, de recursos da psicologia quantitativa e através de técnicas matemáticas bem dominadas priorizar alternativas que a pessoa tem à frente. Existem também métodos analíticos do Apoio Multicritério que são voltados à tomada de decisão em grupo para solucionar problemas.

Segundo Saaty (2008), para se tomar uma decisão de uma forma organizada para gerar prioridades, deve-se decompor a decisão obedecendo os seguintes passos:

- a) definir o problema e determinar o tipo de conhecimento buscado;
- b) estruturar a hierarquia da decisão vindo de cima para baixo, iniciando com o objetivo da decisão, em seguida os objetivos de uma perspectiva ampla, através dos níveis intermediários (critérios onde cada elemento subsequente depende) para o nível mais baixo (onde normalmente estão o conjunto de alternativas);
- c) construir um conjunto de matriz de comparação. Cada elemento no nível superior é usado para comparar com os elementos que se encontram imediatamente no nível inferior;
- d) usar as prioridades obtidas com as comparações para pesar as prioridades no nível subsequente. Isso deve ser feito para todos os elementos. Em seguida, para cada elemento no nível abaixo adicionar os valores de pesos e obter sua prioridade total ou global. Deve-se continuar o processo de adicionar pesos até as prioridades finais das alternativas, que estão no nível mais baixo.

Segundo Soares (2006), a solução de problemas de decisão utilizando o MAH, de um modo geral, é desenvolvida conforme o seguinte procedimento:

- a) construção da hierarquia, identificando a meta ou objetivo global; a construção da hierarquia de decisão envolvendo a definição da família de agentes de decisão participantes da produção do processo do sistema de transporte rodoviário; os critérios e subcritérios; as alternativas de localização.
- b) elaboração da estrutura de comparação representada pelo arranjo em níveis dos elementos constituintes do problema;
- c) obtenção de dados e coleta de julgamentos de valor emitidos pelos especialistas;
- d) análise da consistência dos julgamentos, a partir das atribuições de valor efetuadas pelos especialistas, variando esses valores em função da Escala Fundamental de Saaty (1990);
- e) classificação final das alternativas por ordem de importância derivada dos valores atribuídos pelos especialistas;
- f) síntese dos dados obtidos dos julgamentos dos especialistas e cálculo da prioridade de cada alternativa em relação ao objetivo a ser alcançado, mediante o procedimento de análise de sensibilidade e aderência. Assim, a síntese dos resultados dessas comparações permite a determinação da melhor alternativa, provida da clara razão para sua escolha.

De acordo com Campos (2013), para uma análise de diferentes alternativas de projeto, faz-se uma decomposição do problema em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão e avaliação. Desta forma, no nível mais alto está o objetivo principal do estudo, nos níveis intermediários estão os critérios (propriedades através das quais as alternativas serão avaliadas) e no nível mais baixo estão as alternativas a serem decididas. Na construção dessa hierarquia, para que a modelagem seja adequada devem ser incluídas todas as características consideradas importantes para que a representação do problema seja a mais próxima possível do real.

Segundo Almeida (2006), o MAH parte do princípio da determinação da importância e da contribuição de cada critério para a obtenção de um determinado objetivo principal. Essa importância é estabelecida a partir da comparação par-a-par dos elementos de cada grupo. Todos os elementos de um grupo são comparados entre si, tendo cada comparação o objetivo de determinar a influência de cada um na ocorrência de um determinado objetivo. O método de comparação em pares deriva de julgamentos, os quais são realizados em função de dados, conhecimentos e experiência sobre o assunto analisado.

Ainda conforme Almeida (2006), o MAH gera modelos provenientes da subjetividade dos tomadores de decisão envolvidos no processo que, geralmente são especialistas no assunto analisado. Entretanto, é necessário determinar até que ponto os resultados são eficazes, uma vez que a mente humana está sujeita a variações de pensamentos. A eficácia desses resultados é determinada através do cálculo da consistência lógica das respostas obtidas em uma matriz de comparações paritárias.

No contexto aeroportuário, Mota (2014) desenvolveu uma análise multicritério para as condições físicas da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza, objetivando analisar a importância dessas condições na garantia da segurança operacional utilizando modelo multicritério de priorização.

Mota (2014) empregou conhecimentos do MAH para elaborar um modelo de priorização de condições, comparando as condições de aderência, com as condições estruturais e funcionais das pistas de pouso e decolagem, conforme estrutura desenvolvida por Oliveira (2014). Para isso, foi feita uma pesquisa com especialistas na área, em busca do conhecimento deles a respeito das condições citadas.

No seu trabalho, Mota (2014) seguiu a sequência estabelecida pelo MAH, que consiste em: estruturar o problema, definir e hierarquizar os critérios e indicadores, comparar par-a-par os critérios pertencentes a um mesmo grupo, calcular a consistência lógica,

determinar as prioridades e analisar as alternativas. Para isso foi utilizando um *software* denominado *Expert Choice* com o objetivo de simplificar os cálculos.

Segundo Machado, Gomes e Chauvel (2003), o *Expert Choice* é um *software* com uma interface bastante amigável e de fácil navegação. Além da utilização de técnicas de análise de decisão convencionais, tal *software* permite que as pessoas envolvidas na decisão explicitem suas preferências e efetuem julgamentos de valor segundo a representação do problema de acordo com uma estrutura hierárquica. Na aplicação dos princípios do MAH, o *software Expert Choice* permite percorrer todas as etapas do processo: construção do modelo, avaliação por pares, síntese dos resultados e análise de sensibilidade.

Os resultados encontrados por Mota (2014) simularam um cenário em que as condições de aderência foram consideradas as mais importantes (61%), sendo as condições funcionais as de segunda maior importância (28%) e, por último, as estruturais (11%).

Os resultados apresentados parecem ser razoáveis, pois traduzem uma questão de prática contínua entre as equipes técnicas dos operadores de aeródromos e inserida nos procedimentos de manutenção das pistas de pouso e decolagem dos aeroportos brasileiros há, pelo menos, duas décadas. A macrotextura e o coeficiente de atrito, inseridos na condição de aderência, sempre foram (e continuam sendo) parâmetros de cumprimento obrigatório por parte do operador de aeródromo e de fiscalização dos órgãos reguladores (o DAC, até 2005, e a ANAC, a partir daquele ano).

O ACN e o PCN, por sua vez, são de caráter obrigatório nos projetos de implantação de infraestruturas de pátios e pistas aeroportuários. Após construídas, essas infraestruturas têm suas condições estruturais avaliadas somente quando existe alguma demanda extraordinária por parte do órgão regulador ou suspeita do operador de aeródromo de comprometimento estrutural, identificados por meio de vistorias que detectam afundamentos, rupturas ou colapsos.

Os defeitos superficiais e a irregularidade longitudinal começaram a ser verificados *in situ* e com frequências definidas, como de caráter compulsório aos operadores de aeródromos, somente a partir de 2013, ou seja, algo muito recente na realidade dos aeroportos brasileiros. Vale registrar que as análises das condições funcionais eram feitas pelos operadores de aeródromos, até o estabelecimento da regulação nacional em 2012, de modo eventual e sem metodologia especificada.

Percebe-se, portanto, que o fato das condições de aderência terem uma maior abrangência de conhecimento e um maior tempo de aplicação no cenário aeroportuário nacional, contribuiu para que mais da metade dos especialistas entrevistados indicassem essas

condições como as mais importantes, notadamente quando estão acima dos requisitos mínimos exigidos.

Entende-se que há relevância das condições de aderência para a segurança das operações de pousos e decolagens, mas defende-se que essas condições são, de muitos modos, interligadas às demais. Não se concebe o funcionamento satisfatório e abrangente de um complexo de pátios e pistas aeroportuários sem que todas as condições analisadas neste trabalho estejam atuando sem restrições às operações.

É notório que se a capacidade de suporte da infraestrutura da pista é insuficiente para operação de determinadas categorias de aeronaves, conseqüentemente, as operações de pousos e decolagens ficam comprometidas; se há presença de defeitos na pista ou se há irregularidades de ordem funcional, também as operações ficam afetadas.

Em todos os casos, o operador de aeródromo deve estar em contínua atenção à prevenção dos incidentes e acidentes por meio da manutenção preventiva e corretiva de todas as condições expostas, sejam elas de aderência, funcionais ou estruturais, objetivando salvaguardar o patrimônio e, principalmente, as vidas que estão sob sua responsabilidade.

3. METODOLOGIA DE OBTENÇÃO DOS DADOS DE BASE DO SISTEMA

A metodologia para levantamento dos dados e a inserção destes na base do modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários a ser desenvolvido nesta Tese é descrita neste capítulo. As estratégias ou parâmetros necessários serão apresentados com embasamento nas condições estruturais, funcionais e de aderência, além da atualização das estratégias de manutenção apresentadas por Oliveira (2009), com a definição dos respectivos custos dos serviços constantes nas referidas estratégias.

3.1 Definição das frequências mínimas de levantamento das condições

O levantamento dos dados de base para o modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários deve considerar os parâmetros estruturais, funcionais e de aderência obtidos nas pistas de pouso e decolagem. Neste segmento da infraestrutura aeroportuária, sob o aspecto de segurança operacional, as estratégias envolvendo as aeronaves são as mais críticas, tanto para estas, quanto, para as bagagens, as cargas e, principalmente, os passageiros transportados.

Para tanto, devem ser cumpridas as práticas e os procedimentos recomendados pelas autoridades da aviação civil nacional e internacional. Alguns deles já foram descritos no capítulo anterior, entretanto, outros carecem de melhor definição ao contexto no qual será aplicado.

Para as condições estrutural e de aderência, as metodologias de levantamento dos dados, respectivamente, através do Método ACN/PCN e da Macrotextura associada ao Coeficiente de Atrito, já estão definidas objetivamente na legislação atual, com avanços e melhorias significativas nos últimos cinco anos, bem como aplicabilidade regular por parte dos operadores de aeródromos.

Por outro lado, os parâmetros de levantamento referentes à condição funcional, bem como as suas frequências mínimas, não estão claramente definidos; exceção é feita para a irregularidade longitudinal da pista de pouso e decolagem por meio do *International Roughness Index* – IRI.

Como apresentado no capítulo anterior, ANAC (2012a) quando trata da questão dos defeitos nos pavimentos, tais como buracos, fissuras, trincas, exsudações, dentre outros, por exemplo, limita-se a informar que o seu monitoramento deve ser feito através de inspeções visuais regulares. Entretanto, não define como essas inspeções devem ser feitas,

nem a frequência mínima das medições, tampouco em quais locais devem ser realizadas. A mesma falta de informação pode ser considerada para os desníveis, depressões e deformações indicados como danos a serem constatados, também, nas pistas de pouso e decolagem.

Diante dessa ausência, adota-se para fins desta pesquisa que os defeitos mencionados anteriormente sejam levantados seguindo a metodologia *Pavement Condition Index* – PCI, já descrita no capítulo anterior, com auxílio do *software* Micro PAVER, considerando que possui uma efetiva aplicabilidade em caso de aeroportos.

Ocorre que em muitos aeroportos brasileiros, a exemplo do Aeroporto Internacional de Fortaleza, uma única pista de pouso e decolagem está disponível para as operações. Neste caso e, em especial, se os aeroportos possuem intensas movimentações diárias, torna-se inviável a interrupção das estratégias operacionais para o levantamento dos danos e defeitos seguindo apropriadamente a metodologia PCI.

Não sendo possível o levantamento integral da pista de pouso e decolagem, sugere-se que os defeitos sejam levantados, com maior grau de detalhamento, no mínimo, na área de toque das pistas, isso porque é nessa área onde as aeronaves têm seu primeiro contato com a pista nos pousos e onde começam a rolagem em maior velocidade para as decolagens, e a presença de defeitos, bem como de algumas deteriorações pode provocar distúrbios diversos nas operações das aeronaves, especialmente os que causam perda de controle direcional.

A mesma metodologia de levantamento descrita no parágrafo anterior pode ser aplicada aos desníveis, depressões e deformações que alteram as declividades transversais e longitudinais das pistas, com o conseqüente acúmulo de água, contribuindo para um contato inadequado das condições de aderência.

No que diz respeito às frequências mínimas de medições das condições estruturais, funcionais e de aderência dos pavimentos aeroportuários, ANAC (2012a), como se apresentou no capítulo anterior, define a periodicidade apenas para as duas últimas. Para a primeira condição, são definidas nesta Tese as frequências mínimas expostas na Tabela 17.

Tabela 17 – Frequência mínima das medições das condições estruturais.

Pousos diários de aeronaves na pista	Frequência mínima das condições estruturais – Método ACN/PCN
Menos de 15	Cada 48 meses
16 a 30	Cada 42 meses
31 a 90	Cada 36 meses
91 a 150	Cada 30 meses
151 a 210	Cada 24 meses
Mais de 210	Cada 18 meses

Percebe-se, pela Tabela 17, que as frequências mínimas das medições são definidas, também, de acordo com a quantidade de pousos diários de aeronaves, assim como feito por ANAC (2012a) para as demais condições. A justificativa para as frequências indicadas na Tabela 17 deve-se ao fato de que as condições estruturais das camadas dos pavimentos, desde que exista um efetivo acompanhamento de sua construção com os devidos ensaios de grau de compactação e obtenções das deflexões/deformações *in situ*, bem como os demais elementos de projeto – geometria e drenagem, por exemplo, sofrem poucas variações; por isso uma frequência maior quando comparada às demais condições.

Contudo, é importante ressaltar que alguns tipos de problemas específicos observados nos revestimentos como associados às condições funcionais, a exemplo dos afundamentos plásticos/permanentes, podem sugerir patologias nas camadas inferiores (granulares) da infraestrutura, comprometendo seu comportamento estrutural.

Quanto às condições funcionais, especificamente para os defeitos, os desníveis, as depressões e as deformações no pavimento, as frequências mínimas de medições foram definidas conforme apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Frequência das medições das condições funcionais – defeitos no pavimento.

Pousos diários de aeronaves na pista	Frequência mínima das condições funcionais – defeitos no pavimento
Menos de 15	Cada 12 meses
16 a 30	Cada 6 meses
31 a 90	Cada 3 meses
91 a 150	Cada 2 meses
151 a 210	Cada 45 dias
Mais de 210	Cada 30 dias

O contato das aeronaves sobre os pavimentos ao longo do tempo de vida útil da infraestrutura, por si só, é um fator preponderante acerca das alterações de todas as condições, mas, sobretudo, dos surgimentos de defeitos e deteriorações nos revestimentos, bem como na estrutura como um todo.

Considerando que o aumento das operações de pousos e decolagens sobre as pistas proporcionam grande influência no surgimento de deteriorações nos pavimentos, indica-se uma menor frequência no levantamento dessas patologias. Desse modo, percebe-se que as frequências mínimas apresentadas na Tabela 18 seguem as mesmas frequências recomendadas para obtenção dos parâmetros de macrotextura, em virtude de sua importância para a manutenção da segurança operacional aeroportuária.

Considerando, ainda, as condições funcionais, agora para a obtenção da irregularidade longitudinal – IRI, verificou-se no capítulo anterior, através da Tabela 7, que ANAC (2012a) já define suas frequências mínimas de medição. Entretanto, esta Tese sugere alterações em face da ocorrência de duas repetições de frequências (12 e 24 meses) em quatro intervalos de pousos diários distintos (de 16 a 30, de 31 a 90, de 151 a 210 e mais de 210), o que pode ser inadequado para a garantia da segurança das operações de pousos e decolagens. Diante do exposto, a frequência mínima de obtenção da IRI é proposta na Tabela 19.

Tabela 19 – Frequência de medição da irregularidade longitudinal.

Pousos diários	Frequência de medição
1 a 15	Cada 36 meses
16 a 30	Cada 30 meses
31 a 90	Cada 24 meses
91 a 150	Cada 18 meses
151 a 210	Cada 12 meses
Mais de 210	Cada 6 meses

Um resumo das frequências mínimas para todas as condições descritas nesta Tese é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 – Resumo das frequências mínimas das medições das condições avaliadas.

Pousos Diários	Frequência Mínima das Medições				
	Condições Estruturais	Condições Funcionais		Condições de Aderência	
		Defeitos e Danos no Pavimento	IRI	Coefficiente de Atrito	Macrotextura
Menos de 15	48 meses	12 meses	36 meses	12 meses	12 meses
16 a 30	42 meses	6 meses	30 meses	6 meses	6 meses
31 a 90	36 meses	3 meses	24 meses	3 meses	3 meses
91 a 150	30 meses	2 meses	18 meses	30 dias	2 meses
151 a 210	24 meses	45 dias	12 meses	15 dias	45 dias
Mais de 210	18 meses	30 dias	6 meses	7 dias	30 dias

Vale ressaltar que um tempo menor de frequência dos levantamentos pode ser realizado diferentemente do apresentado na Tabela 20, desde que o operador do aeródromo perceba algum indício de comprometimento da segurança das operações, seja pelas inspeções operacionais regulares no complexo de pátios e pistas ou por registros dos aeronavegantes.

3.2 Atualização das estratégias de manutenção e reabilitação (M&R)

As estratégias de manutenção e reabilitação consideradas nesta Tese têm como fundamento as 13 (treze) inicialmente propostas por Oliveira (2009) com base apenas na macrotextura e no coeficiente de atrito, cuja classificação entre geral e específica é exposta na Tabela 21.

Tabela 21 – Resumo das estratégias de manutenção de Oliveira (2009).

Geral	Específica
Conservação – C	1. Inspeção Visual Semanal 2. Inspeção Visual Quinzenal 3. Inspeção Visual Mensal 4. Ensaio de Macrotextura – Extraordinário 5. Ensaio de Coeficiente de Atrito – Extraordinário
Restauração – R	6. Lama Asfáltica 7. Tratamento Superficial – Simples, Duplos ou Triplos 8. Microrrevestimento Asfáltico 9. Camada Porosa de Atrito – CPA 10. Matriz Pétreo Asfáltica – SMA 11. <i>Grooving</i> 12. Remoção do Contaminante 13. Reconstrução do Revestimento

Fonte: Oliveira (2009)

O ponto de partida para a nova proposição diz respeito à atualização (exclusão, permanência, agrupamento ou inserção) dessas estratégias no sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários, sob a ótica da viabilidade técnica e, posteriormente, econômica.

Inicialmente, constata-se que as estratégias de Conservação – C apresentadas por Oliveira (2009) compreendem rotinas que não geram custos significativos para o Operador de Aeródromo, pois são realizadas, na quase totalidade dos maiores aeroportos brasileiros, com mão de obra, materiais e equipamentos próprios, sem a necessidade de contratação de empresas especializadas para tal fim.

Diante do exposto anteriormente e a intenção de atualização para os fins propostos nesta Tese, tem-se as seguintes atualizações para as antigas estratégias de Conservação – C:

- a) as inspeções visuais, antes divididas em três frequências distintas – semanal, quinzenal e mensal, serão consideradas apenas como uma única estratégia de manutenção denominada de “Inspeções de acompanhamento”, cuja frequência

deve ser estabelecida nos planos de manutenção e de segurança operacional do Operador do Aeródromo ou determinada pela ANAC em resolução específica. No entanto, sugere-se, no mínimo, a realização de inspeções quinzenais, destinadas especificamente à avaliação das condições já expostas;

- b) no mesmo sentido, serão descartados os ensaios extraordinários de macrotextura e de coeficiente de atrito, propostos por Oliveira (2009) como estratégias específicas de conservação, pois esses devem fazer parte das estratégias de acompanhamento das condições de aderência, com frequências e metodologias de levantamento compulsoriamente estabelecidas ao Operador de Aeródromo por ANAC (2012b).

Quanto às estratégias de Restauração – R, de Oliveira (2009), num total de 8 (oito) específicas expostas na Tabela 21, que representam custos significativos no processo de gestão do complexo de pistas da infraestrutura aeroportuária, tem-se as seguintes considerações de atualização para fins de Manutenção (M) nesta Tese:

- a) exclusão das estratégias “Lama Asfáltica” e “Tratamento Superficial – Simples, Duplos ou Triplos”, por não encontrarem aplicações recentes no cenário de manutenções/reabilitações de pavimentos aeroportuários brasileiros;
- b) permanência da estratégia “Remoção do Contaminante”, por se tratar de medida de manutenção compulsória estabelecida em ANAC (2012b);
- c) permanência da estratégia “*Grooving*”. Apesar de ser construído com o objetivo de criar adequadas condições de drenagem superficial, difere das estratégias “Camada Porosa de Atrito – CPA” e da “Matriz Pétreo Asfáltica – SMA” em termos de técnica executiva e custos. Além disso, o *Grooving* pode ser executado em ambos os tipos de revestimentos (flexíveis ou rígidos);
- d) substituição da estratégia “Microrrevestimento Asfáltico” pela estratégia denominada “Revestimentos Asfálticos Não-Estruturais”, podendo ser aplicados em segmentos do pavimento em que não há exigências de grandes cargas – áreas de movimentação de aeronaves (sem a ocorrência de operações de pousos e decolagens, como as *taxiways*, por exemplo) ou como ação de melhoramento do conforto ao rolamento das aeronaves;
- e) inserção da estratégia “Selagem de Trincas”, esta como uma ação de manutenção adotada para reparos simples e imediatos, sem maiores custos e impactos nas operações aeroportuárias; e

- f) inserção da estratégia “Retexturização do Revestimento”, como uma técnica especial que objetiva proporcionar um rejuvenescimento da textura do revestimento através da utilização do hidrojateamento a alta pressão ou de microesferas de aço lançadas sob pressão e a altas velocidades contra o revestimento por meio de equipamentos especiais.

No que diz respeito às estratégias de Reabilitação (R) propostas nesta Tese, baseadas nas estratégias de restauração de Oliveira (2009), tem-se as seguintes considerações:

- a) conversão da estratégia “Reconstrução do Revestimento” em “Revestimentos Asfálticos Estruturais Convencionais”, com a utilização de Concreto Asfáltico (ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ) e “Revestimentos Asfálticos Estruturais Especiais”, conforme detalhamento do item seguinte;
- b) agrupamento das estratégias “Camada Porosa de Atrito – CPA” e “Matriz Pétreo Asfáltica – SMA” em uma única estratégia denominada “Revestimentos Asfálticos Estruturais Especiais”. Esses revestimentos, conforme indicam Bernucci *et al.* (2007), utilizam cimentos asfálticos modificados por polímeros, faixas granulométricas abertas (CPA) ou descontínuas (SMA), além de possuírem adequado desempenho devido à alta resistência contra a ação abrasiva do tráfego, ao aumento da aderência pneu-pavimento e a redução da lâmina d’água, facilitando o escoamento superficial;
- c) inserção da estratégia “Recomposição de Camadas Granulares”, quando ocorrerem necessidade de intervenções construtivas nas camadas de base, sub-base e reforço do subleito. Ressalte-se que, nesta estratégia, o revestimento também passará, obrigatoriamente, por reabilitação, já que não se pode interferir nessas camadas granulares sem alterações do revestimento;
- d) inserção da estratégia “Reciclagem do Pavimento”, quando houver a indicação de reutilização ou incorporação de materiais do próprio pavimento, tais como o material fresado do revestimento no próprio revestimento ou na camada de base, por exemplo, podendo ser feita também com a inclusão de materiais, como brita, cal, cimento, espuma de asfalto, polímeros, aditivos químicos, dentre outros. Essa solução construtiva tem seu uso cada dia mais frequente, devido ao seu desempenho técnico e, sobretudo, ambiental, pois não geram resíduos que poderiam ser descartados de forma inadequada na natureza;
- e) inserção da estratégia “Reforço do Pavimento”. Esta reabilitação diz respeito à execução de uma nova camada de revestimento, podendo ocorrer de modo

convencional (sem fresagem, ou seja, uma nova camada sobre a camada já existente) ou com fresagem da camada anterior. O novo revestimento asfáltico executado pode ter as características apresentadas nos itens ‘a’ e ‘b’, anteriormente descritos. Quando utilizado sem fresagem, deve-se atentar para as alterações do greide e da conformação da inclinação transversal da pista.

Na Tabela 22, verifica-se um resumo das estratégias de Manutenção e Reabilitação (M&R) propostas nesta Tese, cujos detalhamentos foram apresentados ao longo deste item. Também, apresenta-se um código alfanumérico respectivamente designado para cada estratégia, cuja utilização será feita em momento posterior.

Visualiza-se também na Tabela 22 a inclusão de uma coluna com as unidades respectivas de cada estratégia. Exceto para a estratégia M0: Inspeção de acompanhamento, todos os demais serviços são medidos em extensão (m), em área (m²) ou em volume (m³), visando facilitar posteriormente a definição dos custos unitários médios.

Tabela 22 – Resumo das estratégias de manutenção e reabilitação.

Código	Manutenção (M)	Unidade
M0	Inspeções de acompanhamento	-
M1	<i>Grooving</i>	m ²
M2	Selagem de trincas	m
M3	Remoção do contaminante	m ²
M4	Retexturização do revestimento	m ²
M5	Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	m ²
Código	Reabilitação (R)	Unidade
R6	Reciclagem do pavimento	m ³
R7	Recomposição de camadas granulares	m ³
R8	Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	m ³
R9	Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	m ³
R10	Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreia de Asfalto (SMA)	m ³

A partir da definição dessas novas estratégias de manutenção e reabilitação (M&R), expostas na Tabela 22, pode-se ter uma previsão adequada dos respectivos custos para que as análises de viabilidade econômica sejam incorporadas à base de dados do modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários proposto.

3.3 Custos das estratégias de manutenção e reabilitação

Diferentemente do setor de infraestrutura rodoviária, o de infraestrutura aeroportuária não dispõe de um sistema de custos específicos para suas obras e serviços. Por conta disso, na maioria dos casos, a elaboração das planilhas de custos que compõem as licitações em aeroportos é feita com base nos custos rodoviários, o que leva a algumas divergências técnicas devido às diferenças operacionais nas obras aeroportuárias, tais como o intervalo reduzido para execução dos serviços devido a restrições de pistas de pouso e decolagem, produtividade das equipes inferior ao previsto, mobilizações e desmobilizações diárias, de acordo com as necessidades do tráfego, dentre outras.

Os custos das estratégias descritos neste item fundamentaram-se em informações contidas em bases de dados diversas, tais como termos de referências e planilhas de preços de processos licitatórios da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO e, sobretudo, do Sistema de Custos Rodoviários – SICRO, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (este com data-base de referência para o mês de março de 2015, Região Nordeste, Estado do Ceará).

Na Tabela 23 apresentam-se os custos por unidade, nos intervalos de preços pesquisados nas bases de dados mencionadas, bem como seu valor médio, com as respectivas fontes de pesquisa. As estratégias estão codificadas de acordo com a Tabela 22.

Tabela 23 – Custos das estratégias de manutenção e reabilitação.

Estratégia	Custo (R\$/Unidade (intervalo))	Custo (R\$/Unidade (valor médio))	Fonte
M0	0,00	0,00	-
M1	(35,06 a 45,06)/m ²	40,06/m²	INFRAERO (2014)
M2	(1,88 a 1,98)/m	1,93/m	DNIT (2015)
M3	(17,74 a 23,23)/m ²	20,49/m²	INFRAERO (2014)
M4	(17,74 a 38,71)/m ²	28,23/m²	INFRAERO (2014)
M5	(1,04 a 3,94)/m ²	2,49/m²	DNIT (2015)
R6	(39,41 a 92,40)/m ³	65,91/m³	DNIT (2015)
R7	(19,08 a 92,40)/m ³	55,74/m³	DNIT (2015)
R8	(182,52 a 412,14)/m ³	297,33/m³	DNIT (2015)
R9	(182,52 a 244,75)/m ³	213,64/m³	DNIT (2015)
R10	(667,95 a 834,76)/m ³	751,36/m³	BETUNEL (2014)

Percebe-se, pelas informações prestadas na Tabela 23, que existe uma grande variação dos custos para algumas estratégias. Isso se deve a diversos fatores, mas, sobretudo, a espessura aplicada (no caso de microrrevestimentos – estratégia M5), aos tipos de materiais empregados (água ou microesferas de aço na estratégia M4) ou incorporados às camadas (cal, cimento, brita, espuma de asfalto, aditivos, polímeros, dentre outros – estratégias M5, R6, R7 e R10) e equipamentos utilizados na execução dos serviços (estratégias M3, M4 e R8).

Por conta do exposto no parágrafo anterior, acredita-se que os respectivos custos médios das estratégias de M&R, também apresentados na Tabela 23, sejam adequados para se adotar neste trabalho. Objetiva-se com tal adoção verificar, preliminarmente, a viabilidade econômica da(s) estratégia(s) indicada(s) pelo modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários proposto, de acordo com os parâmetros estruturais, funcionais e de aderência avaliados nos aeródromos.

Além disso, ressalta-se que a precisão ou a previsão mais exata dos custos das estratégias de M&R será alcançada pelo próprio operador do aeródromo, de acordo com os levantamentos dos parâmetros efetuados do modo mais detalhado possível, bem como com a indicação dos quantitativos (lineares, áreas ou volumes) apropriados dos pavimentos a serem mantidos ou reabilitados.

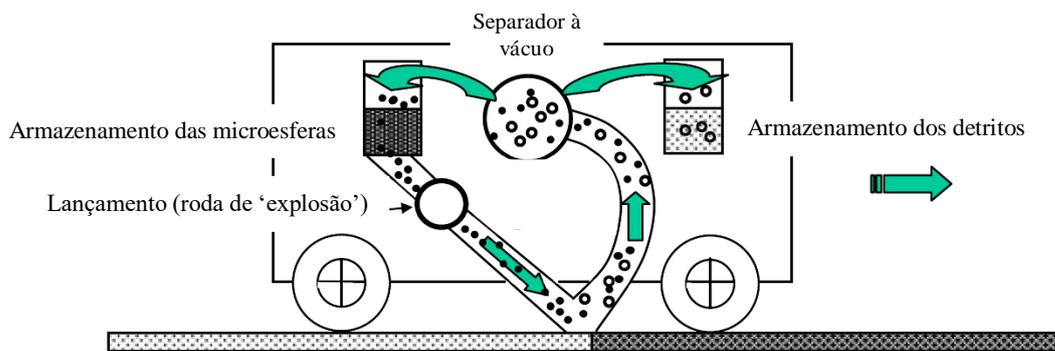
Também não deve ser esquecido que a atualização permanente dos custos de mão de obra, máquinas/equipamentos e materiais é parâmetro indispensável para questões de ordem econômica da gestão dos pavimentos aeroportuários.

Mais especificamente sobre as estratégias da Tabela 23, deve-se esclarecer que:

- a) a estratégia M0 – Inspeções de acompanhamento – não possui custos por unidade, pois estas são executadas, geralmente, por profissionais treinados das áreas operacionais e de manutenção dos operadores de aeródromos, que utilizam viaturas do próprio operador para as inspeções, não havendo, portanto, necessidade de contratação de empresas especializadas para tal fim. Os custos nesse caso são assumidos por conta desses serviços fazerem parte das rotinas de trabalho e da formação daqueles profissionais;
- b) o mesmo poderia ser afirmado para a estratégia M3 – Remoção do contaminante, pois são serviços executados, na quase totalidade dos casos, pelos próprios operadores de aeródromos, de modo compulsório, como já afirmado anteriormente. Todavia, trata-se de estratégia que requer mão de obra especializada e equipamentos específicos (vide capítulo 2, subitem 2.4.1). Além disso, nem todos os operadores de aeródromos dispõem dos

- equipamentos e da mão de obra e, por vezes, solicita o empréstimo destes para outro operador da rede, assumindo esses custos do aeródromo de origem;
- c) quanto à estratégia M4 – Retexturização do revestimento, quando feita com a técnica do hidrojateamento a alta pressão, a execução é semelhante à estratégia M3, com adequações na pressão do jato d'água do equipamento e na quantidade de água utilizada (daí os custos iniciais serem semelhantes). Todavia, quando se trata da técnica que utiliza microesferas de aço lançadas por uma máquina específica (como a esquematizada na Figura 20), sob alta pressão e velocidades, os custos são majorados devido à especificidade de operação do equipamento e do material (aço) utilizados.

Figura 20 – Equipamento para retexturização do revestimento com microesferas de aço.



Fonte: Adaptado de TRB (2011).

Com o exposto neste capítulo espera-se ter descrito de modo apropriado as metodologias envolvidas na obtenção dos dados de base do sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários, com as respectivas frequências mínimas para levantamento das condições físicas – estruturais, funcionais e de aderência –, as estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) atualizadas e os seus respectivos custos unitários.

A partir dessa descrição, no próximo capítulo serão preparadas as associações diversas, em que a base de dados anteriormente mencionada possa ser utilizada de modo combinado e a proporcionar suporte às análises de viabilidades técnico-econômicas e à consequente tomada de decisão por parte do operador de aeródromo.

4. ASSOCIAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO

Este capítulo destina-se a apresentar as sugestões de estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) e os respectivos custos a partir da combinação das classificações das condições estruturais (ACN e PCN), funcionais (PCI e IRI) e de aderência (macrotextura e coeficiente de atrito), cujos parâmetros, especificações e frequências de medição foram descritos nos capítulos anteriores. As sugestões comporão a base do modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários para apoio à tomada de decisão.

4.1 Parâmetros limites de classificação das condições

A seguir, descrevem-se os limites das condições estruturais, funcionais e de aderência de acordo com as especificações vigentes, apresentadas nos capítulos 2 e 3. Para cada um desses limites adotaram-se as classificações “Adequado”, “Degradado” e “Insatisfatório”, considerando o modelo da escala de gradação otimizada do Índice de Condição do Pavimento (PCI), sugerido pelo Micro PAVER.

Assim, a classificação denominada “Adequado” é destinada para todos os casos em que as condições estejam acima dos limites pré-estabelecidos, proporcionando as situações mais favoráveis à segurança das operações de pousos e decolagens, bem como ao funcionamento normal do aeroporto. Por sua vez, a classificação “Degradado” é proposta para situações intermediárias (de PCI e coeficiente de atrito, por exemplo), abaixo da classificação “Adequado” e acima do “Insatisfatório”. Esta última indicada para os casos abaixo dos limites mínimos e extremos que comprometam a segurança operacional, com prováveis riscos de ocorrências de incidentes ou acidentes envolvendo as aeronaves.

Para facilitar a visualização das classificações e, por consequência, de cada uma das condições, adotou-se o sistema de cores da mesma escala de gradação do PCI, inclusive para inserção no modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários, sendo o verde para “Adequado”, o amarelo para “Degradado” e o vermelho para “Insatisfatório”.

Diante do exposto, para a condição estrutural, têm-se os parâmetros ACN e PCN (*Aircraft Classification Number* e *Pavement Classification Number*) que indicam a resistência dos pátios e pistas em função das características das aeronaves (ACN) e dos pavimentos (PCN). Para fins de descrição dos parâmetros limites adotam-se as seguintes classificações:

PCN \geq ACN
PCN $<$ ACN

Adequado
Insatisfatório

Para a condição funcional, dois parâmetros – o Índice de Condição do Pavimento (*Pavement Condition Index* – PCI) e o Índice Internacional de Irregularidade (*International Roughness Index* – IRI) – são utilizados como metodologia de verificação da superfície dos pátios e das pistas aeroportuárias sob os aspectos, respectivamente, da presença de defeitos e do conforto ao rolamento. Desse modo, para a descrição dos parâmetros limites apresentam-se as seguintes classificações:

	PCI	≥ 70	Adequado
55 <	PCI	< 70	Degradado
	PCI	≤ 55	Insatisfatório
	IRI	$\leq 2,0\text{mm/m}$	Adequado
	IRI	> 2,0mm/m	Insatisfatório

Na condição de aderência, dois parâmetros – a macrotextura e o coeficiente de atrito – são empregados. Para o primeiro, consideram-se os valores da profundidade média da macrotextura (P) e, no segundo, as classificações são descritas em função do tipo de equipamento e da respectiva velocidade (em km/h) das medições. Além disso, adota-se, também, para o coeficiente de atrito (μ), a classificação “Adequado” para valores superiores ao nível de manutenção, “Degradado” entre o nível de manutenção e o nível mínimo, e abaixo deste, a classificação “Insatisfatório”. Assim, tem-se na condição de aderência o seguinte:

	P	$\geq 0,60\text{mm}$	Adequado
	P	< 0,60mm	Insatisfatório
<u>Mu-Meter</u>		(65km/h)	
	μ	$\geq 0,51$	Adequado
0,41 <	μ	< 0,51	Degradado
	μ	$\leq 0,41$	Insatisfatório
		(95km/h)	
	μ	$\geq 0,37$	Adequado
0,25 <	μ	< 0,37	Degradado
	μ	$\leq 0,25$	Insatisfatório
<u>Skidometer</u>		(65km/h)	
	μ	$\geq 0,59$	Adequado
0,49 <	μ	< 0,59	Degradado
	μ	$\leq 0,49$	Insatisfatório
		(95km/h)	
	μ	$\geq 0,46$	Adequado
0,33 <	μ	< 0,46	Degradado
	μ	$\leq 0,33$	Insatisfatório

<u>Surface Friction Tester</u>	(65km/h)	$\mu \geq 0,59$	Adequado
		$0,49 < \mu < 0,59$	Degradado
		$\mu \leq 0,49$	Insatisfatório
	(95km/h)	$\mu \geq 0,46$	Adequado
		$0,33 < \mu < 0,46$	Degradado
		$\mu \leq 0,33$	Insatisfatório
<u>Runway Friction Tester</u>	(65km/h)	$\mu \geq 0,59$	Adequado
		$0,49 < \mu < 0,59$	Degradado
		$\mu \leq 0,49$	Insatisfatório
	(95km/h)	$\mu \geq 0,53$	Adequado
		$0,40 < \mu < 0,53$	Degradado
		$\mu \leq 0,40$	Insatisfatório
<u>Trata</u>	(65km/h)	$\mu \geq 0,56$	Adequado
		$0,47 < \mu < 0,56$	Degradado
		$\mu \leq 0,47$	Insatisfatório
	(95km/h)	$\mu \geq 0,51$	Adequado
		$0,41 < \mu < 0,51$	Degradado
		$\mu \leq 0,41$	Insatisfatório
<u>Grip Tester</u>	(65km/h)	$\mu \geq 0,52$	Adequado
		$0,42 < \mu < 0,52$	Degradado
		$\mu \leq 0,42$	Insatisfatório

Após as descrições das classificações em função das condições, a próxima etapa é definir todas as combinações possíveis de todos os cinco parâmetros das condições – ACN/PCN, PCI, IRI, P e μ – e sugerir, para cada combinação, as estratégias de manutenção e reabilitação mais adequadas, proporcionando subsídios à tomada de decisão. Os custos unitários também serão apresentados para cada estratégia ou conjunto de estratégias.

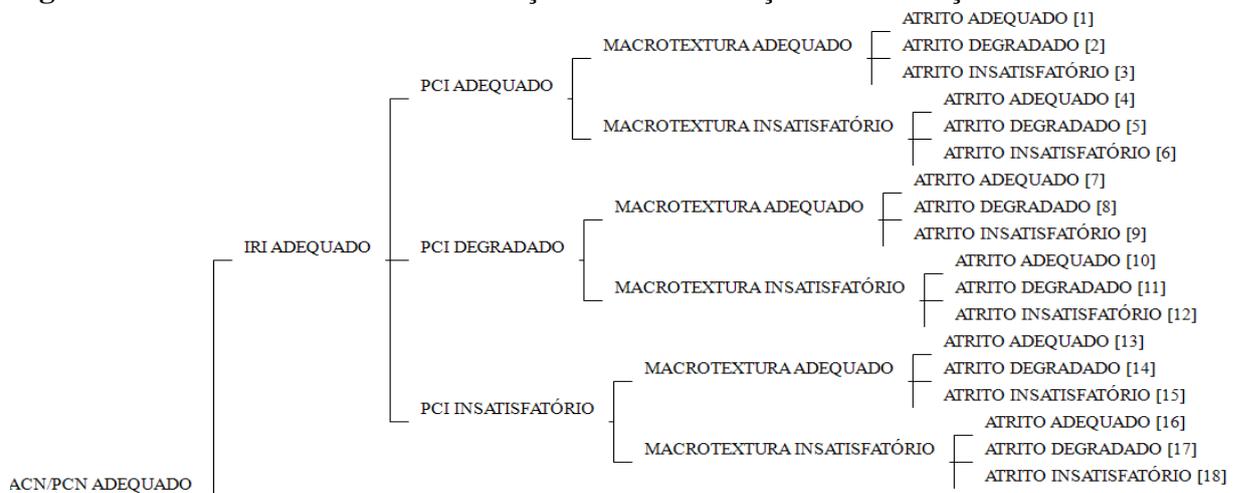
4.2 Combinações das classificações das condições

As classificações das condições estruturais, funcionais e de aderência, com seus respectivos parâmetros, estão combinadas conforme a Figura 21. A estruturação apresentada refere-se a uma árvore de decisão em nível de rede.

Verifica-se que foram encontradas 72 distintas combinações das classificações das condições. Para cada uma das combinações expostas na Figura 21, inseriu-se uma numeração sequencial, de [1] a [72], objetivando facilitar o processo posterior de indicação das estratégias de manutenção e reabilitação (M&R).

Na Figura 22 apresenta-se um detalhamento das 18 primeiras combinações das classificações iniciando-se pela condição estrutural – ACN/PCN Adequado – e pela condição funcional – IRI Adequado.

Figura 22 – Detalhamento das combinações das classificações das condições.



A sequência das combinações da Figura 22, a partir das duas primeiras condições descritas no parágrafo anterior, é composta das classificações para o PCI (Adequado, Degradado e Insatisfatório), a macrotextura (Adequado e Insatisfatório) e o coeficiente de atrito (Adequado, Degradado e Insatisfatório). Para estas três últimas condições, ocorre um processo repetitivo para todas as outras 54 combinações (de [19] a [72]).

Pode-se afirmar que as 72 combinações das classificações das condições sejam a lógica básica do modelo de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários proposto nesta Tese. Com isso pretende-se o apoio à tomada de decisão e o incremento da segurança das operações de pousos e decolagens.

A partir dos parâmetros levantados nos complexos de pistas e pátios, e a devida inserção das informações como dados de entrada no sistema de gerenciamento, é previsto que o mesmo forneça, como dados de saída, as estratégias e os seus respectivos custos. A ideia é que o mesmo oriente, de modo técnico e econômico, os operadores de aeródromos no processo de manutenção e reabilitação das condições consideradas não-conformes.

4.3 Proposição das estratégias de manutenção e reabilitação (M&R)

As estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) são indicadas neste subitem para cada uma das 72 combinações das classificações das condições. Através da Tabela 24 expõe-se, na primeira coluna, a numeração correspondente a todas as combinações e, nas colunas seguintes, as respectivas soluções de estratégias são propostas. Percebe-se que, para algumas combinações, sobretudo àquelas que tornam os pavimentos mais degradados e, por consequência, comprometem de modo mais severo a segurança das operações de pousos e decolagens, mais de uma estratégia ou uma associação de estratégias pode ser recomendada.

Tabela 24 – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

Combinação	Estratégias de M&R e Soluções Propostas		
	Solução 1	Solução 2	Solução 3
[1]	M0: Inspeções de acompanhamento	-	-
[2]	M3: Remoção do contaminante	-	-
[3]	M3: Remoção do contaminante	M4: Retexturização do revestimento	-
[4]	M3: Remoção do contaminante	-	-
[5]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
[6]	M4: Retexturização do revestimento	-	-
	M1: <i>Grooving</i>		
[7]	M0: Inspeções de acompanhamento	-	-
	M2: Selagem de trincas		
[8]	M0: Inspeções de acompanhamento	M0: Inspeções de acompanhamento	-
	M2: Selagem de trincas	M3: Remoção do contaminante	

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[9]	M0: Inspeções de acompanhamento	M0: Inspeções de acompanhamento	-
	M2: Selagem de trincas	M3: Remoção do contaminante	
		M4: Retexturização do revestimento	
[10]	M0: Inspeções de acompanhamento	-	-
	M3: Remoção do contaminante		
	M2: Selagem de trinca		
[11]	M0: Inspeções de acompanhamento	-	-
	M3: Remoção do contaminante		
	M2: Selagem de trincas		
	M4: Retexturização do revestimento		
[12]	M2: Selagem de trincas	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[13]	M2: Selagem de trincas	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[14]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M2: Selagem de trincas		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[15]	M2: Selagem de trinca		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	-	-
[16]	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	-	-
	M1: <i>Grooving</i>		
[17]	M4: Retexturização do revestimento	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-
	M5: revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	M1: <i>Grooving</i>	
	M1: <i>Grooving</i>		
[18]	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[19]	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	-	-

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[20]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[21]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[22]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[23]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[24]	M4: Retexturização do revestimento	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[25]	M0: Inspeções de acompanhamento	-	-
	M2: Selagem de trincas		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[26]	M0: Inspeções de acompanhamento	-	-
	M3: Remoção do contaminante		
	M2: Selagem de trincas		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[27]	M0: Inspeções de acompanhamento	-	-
	M2: Selagem de trincas		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[28]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[29]	M3: Remoção do contaminante	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[30]	M4: Retexturização do revestimento	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[31]	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[32]	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
[33]	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
[34]	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[35]	R6: Reciclagem do pavimento	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[36]	R6: Reciclagem do pavimento	R6: Reciclagem do pavimento	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	
	M4: Retexturização do revestimento	M1: <i>Grooving</i>	
[37]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
[38]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[39]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
[40]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
[41]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M1: <i>Grooving</i>		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[42]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[43]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
[44]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[45]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
[46]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
[47]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[48]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem		
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[49]	R6: Reciclagem do pavimento	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-
		M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	
[50]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem		
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[51]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
[52]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M1: <i>Grooving</i>		
[53]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)	
	M1: <i>Grooving</i>		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[54]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	
	M1: <i>Grooving</i>		
[55]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[56]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[57]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[58]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[59]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[60]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[61]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[62]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	-	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[63]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem		
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
[64]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-
	M1: <i>Grooving</i>	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	
		M1: <i>Grooving</i>	
[65]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem		
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[66]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem		
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M4: Retexturização do revestimento		
	M1: <i>Grooving</i>		
[67]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem		
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-	-
	M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento		
[68]	R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	R7: Recomposição de camadas granulares	
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	-
	M4: Retexturização do revestimento	M4: Retexturização do revestimento	

Continuação da **Tabela 24** – Indicação das estratégias de manutenção e reabilitação.

[69]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	R7: Recomposição de camadas granulares	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / (CBUQ)	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / (CBUQ)	
	M4: Retexturização do revestimento	M4: Retexturização do revestimento	
[70]	R8: Reforço do pavimento: convencional / fresagem	R7: Recomposição de camadas granulares	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / (CBUQ)	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)	
	M1: <i>Grooving</i>		
[71]	R6: Reciclagem do pavimento	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento	R7: Recomposição de camadas granulares	
	M1: <i>Grooving</i>		
[72]	R6: Reciclagem do pavimento	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreá de Asfalto (SMA)	-
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)		
	M4: Retexturização do revestimento	R7: Recomposição de camadas granulares +	
	M1: <i>Grooving</i>		

Considerando as estratégias de manutenção e reabilitação (M&R) da Tabela 24, percebe-se, de modo geral que:

- a) a combinação [36] – ACN/PCN Adequado, todos os demais parâmetros insatisfatórios – é a única que apresenta três possíveis soluções, envolvendo estratégias tanto de manutenção (M) quanto de reabilitação (R);
- b) 15 combinações das condições (cerca de 21% do total) apresentam pelo menos duas soluções e outras 56 combinações (cerca de 78% do total) propõem apenas uma única solução das estratégias de manutenção ou reabilitação;
- c) as atividades de manutenção (M) estão indicadas para a maior parte das combinações das classificações que envolvem deficiências das condições funcionais ou de aderência;
- d) as atividades de reabilitação (R) estão sugeridas, também na sua maioria, para as inadequações das condições estruturais. Todavia, constata-se que algumas dessas estratégias de reabilitação (R) também são indicadas, de forma isolada ou mesmo associadas, para correção de problemas nas condições de aderência. Isso porque as estratégias de reabilitação (R), de modo geral, contemplam atividades mais abrangentes em termos de estrutura (camadas, materiais e outros) e com soluções de caráter permanente ou de longo prazo quando comparadas às estratégias de manutenção (M); porém, têm custos mais elevados.

Os custos por unidades das estratégias indicadas também devem ser analisados de forma criteriosa. Para isso é necessário considerar as unidades devidas das respectivas regiões dos pavimentos que serão destinados aos serviços de manutenção ou reabilitação. Nesse caso, durante o levantamento das condições *in situ*, o avaliador deve estar ciente de que as quantidades das áreas consideradas não-conformes devem ser registradas do modo mais confiável possível, incluindo relatórios fotográficos e apontamentos em formulários próprios. Um modelo de formulário para levantamento de defeito para o PCI encontra-se no Anexo 3.

É importante observar os reais quantitativos dos serviços a serem realizados, de modo que os custos totais das estratégias revelem o cenário mais favorável ao operador do aeródromo, e que atenda, inclusive, as restrições orçamentárias, evitando a escolha de alternativas de baixo custo inicial (muitas vezes muito mais caras a médio e longo prazo).

Compete, portanto, ao tomador de decisão a responsabilidade de selecionar a estratégia (ou conjunto de estratégias) que melhor atenda aos parâmetros técnicos e econômicos na melhoria das condições dos pavimentos.

4.4 Indicação dos custos para as combinações das classificações das condições

A Tabela 25 indica os valores médios dos custos (R\$) / unidade (extensão, área ou volume) das estratégias de manutenção e reabilitação, de cada uma das 72 combinações das classificações das condições descritas anteriormente na Tabela 24.

Tabela 25 – Indicação dos custos médios das estratégias de M&R.

Combinação	Estratégias de M&R (soluções conforme Tabela 22)		Custo (R\$)/Unidade (valor médio, conforme Tabela 23)	
[1]	M0		0,00	
[2]	M3		20,49/m ²	
[3]	M3	M4	20,49/m ²	28,23/m ²
[4]	M3		20,49/m ²	
[5]	M3 + M4		20,49/m ² + 28,23/m ²	
[6]	M4 + M1		28,23/m ² + 40,06/m ²	
[7]	M0 + M2		0,00 + 1,93/m	
[8]	M0 + M2	M0 + M3	0,00 + 1,93/m	0,00 + 20,49/m ²
[9]	M0 + M2	M0 + M3 + M4	0,00 + 1,93/m	0,00 + 20,49/m ² + 28,23/m ²
[10]	M0 + M3 + M2		0,00 + 20,49/m ² + 1,93/m	
[11]	M0 + M3 + M2 + M4		0,00 + 20,49/m ² + 1,93/m + 28,23/m ²	
[12]	M2 + M4 + M1		1,93/m + 28,23/m ² + 40,06/m ²	

Continuação da **Tabela 25** – Indicação dos custos médios das estratégias de M&R.

[13]	M2 + M5		1,93/m + 2,49/m ²	
[14]	M3 + M2 + M5		20,49/m ² + 1,93/m + 2,49/m ²	
[15]	M2 + M4 + M5		1,93/m + 28,23/m ² + 2,49/m ²	
[16]	M4 + M5 + M1		28,23/m ² + 2,49/m ² + 40,06/m ²	
[17]	M4 + M5 + M1	R9 + M1	28,23/m ² + 2,49/m ² + 40,06/m ²	213,64/m ³ + 40,06/m ²
[18]	R9 + M4 + M1	R10	213,64/m ³ + 28,23/m ² + 40,06/m ²	751,36/m ³
[19]	M5		2,49/m ²	
[20]	M3 + M5		20,49/m ² + 2,49/m ²	
[21]	M3 + M4 + M5		20,49/m ² + 28,23/m ² + 2,49/m ²	
[22]	M3 + M5		20,49/m ² + 2,49/m ²	
[23]	M3 + M4 + M5		20,49/m ² + 28,23/m ² + 2,49/m ²	
[24]	M4 + M5 + M1		28,23/m ² + 2,49/m ² + 40,06/m ²	
[25]	M0 + M2 + M5		0,00 + 1,93/m + 2,49/m ²	
[26]	M0 + M3 + M2 + M5		0,00 + 20,49/m ² + 1,93/m + 2,49/m ²	
[27]	M0 + M2 + M4 + M5		0,00 + 1,93/m + 28,23/m ² + 2,49/m ²	

Continuação da **Tabela 25** – Indicação dos custos médios das estratégias de M&R.

[28]	M3 + M5		$20,49/m^2 + 2,49/m^2$			
[29]	M3 + M4 + M5		$20,49/m^2 + 28,23/m^2 + 2,49/m^2$			
[30]	M4 + M5 + M1		$28,23/m^2 + 2,49/m^2 + 40,06/m^2$			
[31]	R9 + M5		$213,64/m^3 + 2,49/m^2$			
[32]	R9 + M4		$213,64/m^3 + 28,23/m^2$			
[33]	R9 + M4		$213,64/m^3 + 28,23/m^2$			
[34]	R9 + M5		$213,64/m^3 + 2,49/m^2$			
[35]	R6 + R9 + M4 + M1		R10	$65,91/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$		$751,36/m^3$
[36]	R6 + R9 + M4	R6 + R9 + M1	R10	$65,91/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$	$65,91/m^3 + 213,64/m^3 + 40,06/m^2$	$751,36/m^3$
[37]	R8 + R9		$297,33/m^3 + 213,64/m^3$			
[38]	R8 + R9 + M4		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$			
[39]	R8 + R9 + M4		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$			
[40]	R8 + R9 + M4		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$			
[41]	R8 + R9 + M1		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 40,06/m^2$			
[42]	R8 + R9 + M4 + M1		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$			

Continuação da **Tabela 25** – Indicação dos custos médios das estratégias de M&R.

[43]	R8 + R9		297,33/m ³ + 213,64/m ³	
[44]	R8 + R9 + M4		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ²	
[45]	R8 + R9 + M4		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ²	
[46]	R8 + R9 + M4		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ²	
[47]	R8 + R9 + M4 + M1		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ² + 40,06/m ²	
[48]	R8 + R9 + M4 + M1		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ² + 40,06/m ²	
[49]	R6 + R9	R8 + R9 + M5	65,91/m ³ + 213,64/m ³	297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 2,49/m ²
[50]	R8 + R9 + M4		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ²	
[51]	R8 + R9 + M4		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ²	
[52]	R8 + R9 + M1		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 40,06/m ²	
[53]	R8 + R9 + M4 + M1	R8 + R10	297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ² + 40,06/m ²	297,33/m ³ + 751,36/m ³
[54]	R8 + R9 + M4 + M1	R8 + R10	297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ² + 40,06/m ²	297,33/m ³ + 751,36/m ³
[55]	R8 + R9 + M5		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 2,49/m ²	
[56]	R8 + R9 + M4 + M5		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ² + 2,49/m ²	
[57]	R8 + R9 + M4 + M5		297,33/m ³ + 213,64/m ³ + 28,23/m ² + 2,49/m ²	

Continuação da **Tabela 25** – Indicação dos custos médios das estratégias de M&R.

[58]	R8 + R9 + M5 + M1		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 2,49/m^2 + 40,06/m^2$	
[59]	R8 + R9 + M4 + M1		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$	
[60]	R8 + R9 + M4 + M1		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$	
[61]	R8 + R9 + M5		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 2,49/m^2$	
[62]	R8 + R9 + M4		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$	
[63]	R8 + R9 + M4		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$	
[64]	R8 + R9 + M1	R8 + R9 + M5 + M1	$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 40,06/m^2$	$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 2,49/m^2 + 40,06/m^2$
[65]	R8 + R9 + M4 + M1		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$	
[66]	R8 + R9 + M4 + M1		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$	
[67]	R8 + R9 + M5		$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 2,49/m^2$	
[68]	R8 + R9 + M4	R7 + R9 + M4	$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$	$55,74/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$
[69]	R8 + R9 + M4	R7 + R9 + M4	$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$	$55,74/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2$
[70]	R8 + R9 + M1	R7 + R10	$297,33/m^3 + 213,64/m^3 + 40,06/m^2$	$55,74/m^3 + 751,36/m^3$
[71]	R6 + R9 + M4 + M1	R7 + R10	$65,91/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$	$55,74/m^3 + 751,36/m^3$
[72]	R6 + R9 + M4 + M1	R7 + R10	$65,91/m^3 + 213,64/m^3 + 28,23/m^2 + 40,06/m^2$	$55,74/m^3 + 751,36/m^3$

Ressalte-se que os custos por unidades apresentados na Tabela 25 são valores médios indicativos dos serviços. Eles podem (e devem) ser alterados, de acordo com as atualizações das suas respectivas fontes de origem e datas-bases de referência. O operador do aeródromo deve manter constante supervisão sobre o banco de dados do sistema para que a atualização dos dados seja realizada de acordo com as necessidades. Tal supervisão é de suma importância para o funcionamento adequado do sistema de gerenciamento de pavimentos e a eficiência do processo de tomada de decisão.

HAAS e HUDSON (1978) têm mostrado ampla relevância do banco de dados, em virtude do seu papel na aquisição coordenada e no armazenamento das informações de todas as outras atividades do SGP. Ressaltam, ainda, que os bancos de dados podem variar desde um simples sistema manual armazenador de informações até complexos sistemas computadorizados. O mesmo destaque ao banco de dados é apreciado por PETERSON (1987), quando o considera como elo central de todo um SGP.

Assim, o caminho mais viável para a seleção da(s) estratégia(s) é otimizar o processo com auxílio do sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários, preferencialmente disposto num programa computacional. Para tanto, os dados expostos neste capítulo, assim como os descritos em capítulos anteriores, deverão ser inseridos no sistema, como o conjunto que forma a sua base de dados.

Ainda fundamentado nas Tabelas 24 e 25, verificam-se que para as 72 distintas combinações de classificação das condições foram propostas 89 soluções de estratégias de manutenção e reabilitação com custos médios diversos.

Percebe-se, ainda, que dentre as 89 soluções propostas existem algumas repetições em combinações próximas, tais como: [32] e [33], [38] a [40] e [44] a [48], [56] e [57], dentre outras. Essa repetição muitas vezes é devida ao fato de que é bastante tênue a distinção entre as condições. Por exemplo, de uma condição de atrito degradado e insatisfatório, ou, deste parâmetro quando associado à macrotextura inadequada, já que esses parâmetros refletem a textura superficial do revestimento. O mesmo pode ser afirmado quando se trabalha com a condição de PCI degradado e insatisfatório. Assim, indicar uma solução de manutenção ou de reabilitação que atenda as devidas combinações do modo mais técnico e direto possível, acabam por indicar propostas bastante semelhantes.

No capítulo seguinte serão propostos diversos cenários de pistas de pousos e decolagens para simulação das condições estruturais, funcionais e de aderência, bem como a apresentação e discussão dos resultados obtidos. Desse modo, espera-se exemplificar melhor a aplicação das estratégias de manutenção e reabilitação anteriormente descritas e propostas.

5. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS PARA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

Este capítulo propõe-se a apresentar alguns cenários de simulação das condições estruturais, funcionais e de aderência de uma pista de pouso e decolagem para recomendação das estratégias de manutenção e reabilitação. Para tanto, um programa computacional foi desenvolvido para facilitar a inserção dos dados levantados em campo e indicar, de modo otimizado, aquelas estratégias e os respectivos custos como auxílios à tomada de decisão.

5.1 A ferramenta computacional

Objetivando facilitar a indicação otimizada das estratégias de manutenção e reabilitação a partir das combinações das classificações das condições, um programa computacional foi desenvolvido, como sendo a ferramenta-modelo do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) proposto nesta Tese.

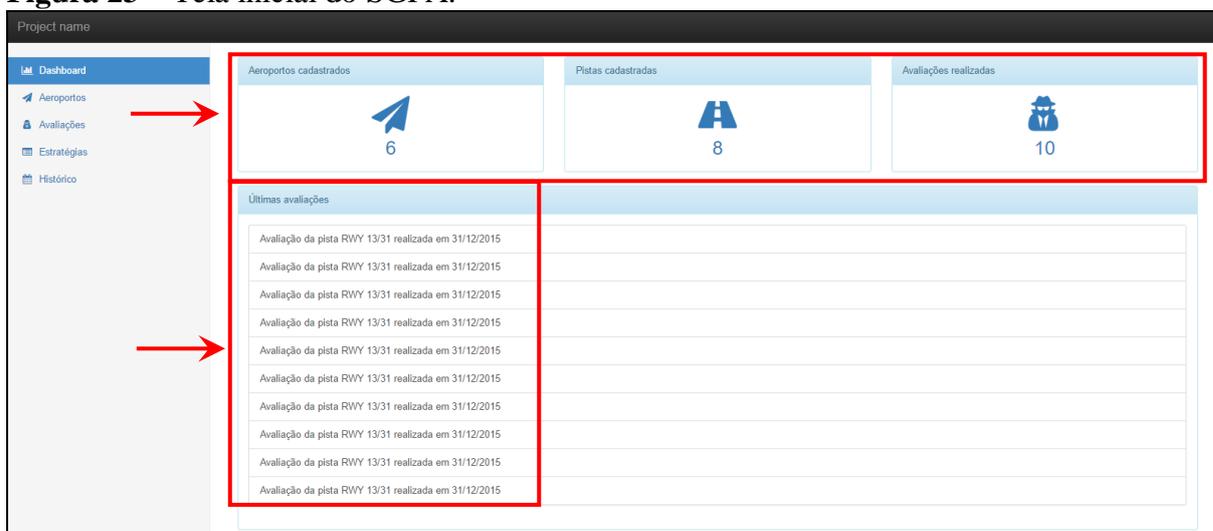
A ideia principal é que o programa esteja disponível em plataforma *web* para que as informações de uma rede de aeroportos possam ser inseridas, compartilhadas e controladas. Além disso, é necessário que os operadores de aeródromos, a agência reguladora e os demais envolvidos possam conhecer e acompanhar o cenário atual da rede, propor soluções aos problemas existentes e planejar ações de melhorias futuras, funcionando como um efetivo sistema de gerenciamento de pavimentos.

Procurou-se conceber um programa em linguagem Java, por um Mestre em Ciências da Computação, com uma estrutura simples, de fácil atualização futura e com interface bastante acessível aos usuários, podendo funcionar com requisitos mínimos do sistema operacional *Windows* e da maioria dos navegadores de Internet existentes no mercado atual. Deve-se considerar que o seu funcionamento é dependente de um servidor *web* compatível para armazenamento seguro do sistema e do seu banco de dados.

No que diz respeito ao requisito segurança das informações, o programa deve manter restrição de acesso quanto à inserção ou alteração dos dados no sistema, à atualização do banco de dados e das informações relativas às estratégias, sobretudo das suas combinações e dos respectivos custos por unidade. Desse modo, as alterações somente poderão ser realizadas por aqueles que detém autorização concedida pelos operadores de aeródromos, com responsabilidades formalmente estabelecidas e de conhecimento de todos os envolvidos. Quanto à visualização e acesso às informações, estas devem ser efetivamente controladas, por todos os elos constituintes do sistema.

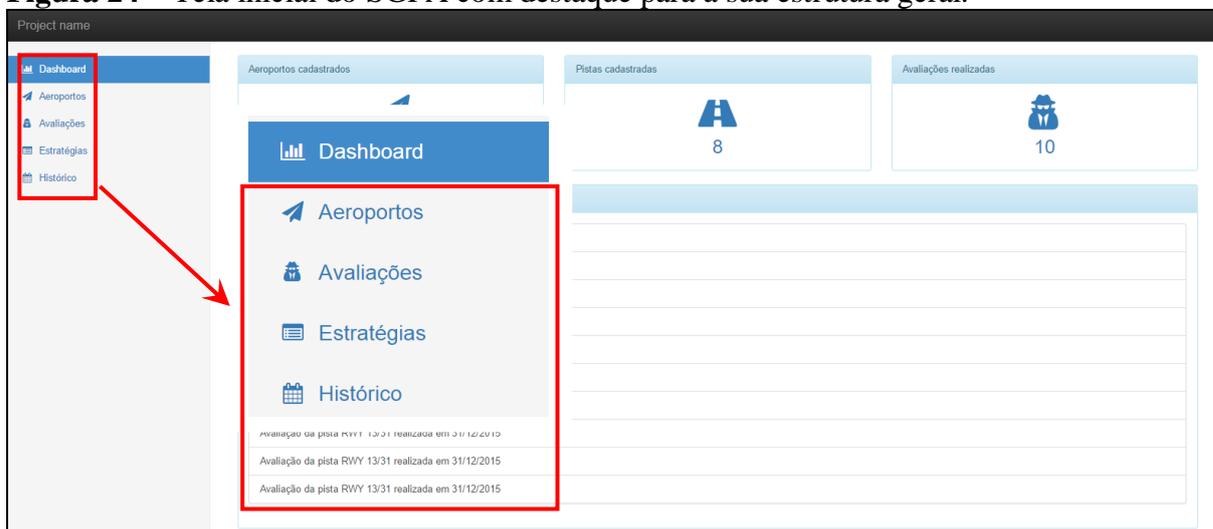
A tela inicial do SGPA é a que se apresenta na Figura 23. Nela constam as seguintes informações básicas (em destaque no quadro vermelho): na parte superior, a quantidade de aeroportos e pistas cadastrados, bem como a indicação de avaliações realizadas. No exemplo da Figura 23 tem-se 6 aeroportos cadastrados, 8 pistas cadastradas (alguns aeroportos podem ter mais de uma pista de pouso e decolagem) e, logo abaixo, apresentam-se os detalhes (denominação das pistas e datas de inserção das avaliações) das 10 (dez) últimas avaliações armazenadas no banco de dados do SGPA.

Figura 23 – Tela inicial do SGPA.



Numa visão geral, o programa foi estruturado em quatro campos distintos (disponíveis no lado esquerdo da tela inicial do SGPA), que contemplam as abordagens propostas nesta Tese, a saber: Aeroportos, Avaliações, Estratégias e Histórico, conforme se observa com o destaque na Figura 24, cujos detalhamentos serão feitos posteriormente.

Figura 24 – Tela inicial do SGPA com destaque para a sua estrutura geral.



O primeiro campo, denominado ‘Aeroportos’, apresenta todos os aeroportos cadastrados no SGPA, com suas respectivas pistas, conforme se visualiza na Figura 25, e seu destaque na sequência. Neste caso, confirma-se os 6 aeroportos e 8 pistas cadastrados.

Figura 25 – Lista de aeroportos e pistas cadastrados no SGPA.

The screenshot shows the 'Aeroportos' section of the SGPA interface. It features a sidebar with navigation options: Dashboard, Aeroportos (selected), Avaliações, Estratégias, and Histórico. The main content area displays a table of airports with their respective runway counts and actions (Editar, Deletar). A red box highlights the table, and a red arrow points to a larger, detailed view of the same data below.

Aeroporto	Nº pistas	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE	1	Editar	Deletar
Aeroporto Regional do Cariri - Juazeiro do Norte	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto - João Pessoa/PB	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Gilberto Freyre - Recife/PE	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Dep. Luís Eduardo Magalhães - Salvador/BA	2	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim - Galeão/RJ	2	Editar	Deletar

Aeroporto	Nº pistas
Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE	1
Aeroporto Regional do Cariri - Juazeiro do Norte	1
Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto - João Pessoa/PB	1
Aeroporto Internacional Gilberto Freyre - Recife/PE	1
Aeroporto Internacional Dep. Luís Eduardo Magalhães - Salvador/BA	2
Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim - Galeão/RJ	2

Ainda no campo ‘Aeroportos’, é possível cadastrar outros aeroportos e pistas, visando uma melhor análise e tomada de decisão, tanto em nível de projeto, quanto em nível de rede. Um exemplo de cadastro de aeroporto é o apresentado na Figura 26, para o Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro, localizado em Guarulhos, Estado de São Paulo.

Figura 26 – Cadastro de aeroporto e pista(s) no SGPA.

The figure shows two screenshots of the 'Cadastrar aeroporto' form in the SGPA interface. The top screenshot shows the form with an empty 'Nome' field and an 'Enviar' button. The bottom screenshot shows the form with the name 'Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP' entered in the 'Nome' field and the 'Enviar' button.

Após o cadastro, confirmado pela mensagem “Aeroporto adicionado com sucesso” (no alto da tela, em destaque na cor verde), o nome do novo aeroporto passa a fazer parte da lista com os demais aeroportos cadastrados, porém sem pistas cadastradas, comprovada pelo número 0 (zero) em “Nº. pistas” (Figura 27) e pela mensagem “Nenhuma pista cadastrada para esse aeroporto” (em destaque na cor azul) da Figura 28. A inclusão da(s) pista(s), ocorre no momento seguinte, conforme se verifica na Figura 29.

Figura 27 – Nova lista de aeroportos e pistas cadastrados no SGPA.

The screenshot shows the 'Aeroportos' section of the SGPA interface. A green message at the top states 'Aeroporto adicionado com sucesso'. Below it is a 'Cadastrar aeroporto' button. A table lists several airports with their respective number of runways. A red arrow points to the last entry, 'Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP', which has 0 runways.

Aeroporto	Nº pistas	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE	1	Editar	Deletar
Aeroporto Regional do Cariri - Juazeiro do Norte	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto - João Pessoa/PB	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Gilberto Freyre - Recife/PE	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Dep. Luis Eduardo Magalhães - Salvador/BA	2	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim - Galeão/RJ	2	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP	0	Editar	Deletar

Figura 28 – Aeroporto cadastrado sem pista(s) no SGPA.

The screenshot shows the details of the 'Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP'. It features an 'Adicionar pista' button and a blue message box stating 'Nenhuma pista cadastrada para esse aeroporto'.

Figura 29 – Adição de pistas e nova lista de aeroportos cadastrados no SGPA.

The screenshot is split into two parts. The top part shows the 'Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP' with an 'Adicionar pista' button and a table of two runways: RWY 09R/27L and RWY 09L/27R. The bottom part shows the updated 'Aeroportos' list, where the 'Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP' now has 2 runways. A red arrow points to this entry.

Aeroporto	Nº pistas	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE	1	Editar	Deletar
Aeroporto Regional do Cariri - Juazeiro do Norte	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto - João Pessoa/PB	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Gilberto Freyre - Recife/PE	1	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Dep. Luis Eduardo Magalhães - Salvador/BA	2	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim - Galeão/RJ	2	Editar	Deletar
Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP	2	Editar	Deletar

No campo ‘Avaliações’, é possível criar uma nova avaliação, selecionando um aeroporto cadastrado anteriormente, juntamente com a pista a ser avaliada. A partir dessas informações é possível inserir, conforme Figura 30, os dados das avaliações: estrutural (ACN e PCN), funcional (IRI e PCI) e de aderência (macrotextura – P e coeficiente de atrito – μ , este de acordo com o equipamento e velocidade de medição).

Figura 30 – Dados necessários a uma nova avaliação no SGPA.

The screenshot shows the 'Nova avaliação' form in the SGPA system. The form is titled 'Nova avaliação' and includes a sidebar with navigation options: Dashboard, Aeroportos, Avaliações (selected), Estratégias, and Histórico. The main form area contains the following fields:

- Aeroporto:** A dropdown menu with the placeholder text 'Escolha um aeroporto'.
- Pista:** A dropdown menu with the placeholder text 'Escolha uma pista'.
- ACN:** A text input field with the placeholder 'F/A/X/T' and the label 'Campo obrigatório' below it.
- PCN:** A text input field with the placeholder 'F/A/X/T' and the label 'Campo obrigatório' below it.
- IRI:** A text input field with the placeholder 'm/Km' and the label 'Campo obrigatório' below it.
- PCI:** A text input field with the label 'Campo obrigatório' below it.
- P:** A text input field with the placeholder 'mm' and the label 'Campo obrigatório' below it.
- Equipamento de medição:** A dropdown menu with 'GripTester' selected.
- Velocidade de medição:** A dropdown menu with '65km/h' selected.
- μ :** A text input field with the label 'Campo obrigatório' below it.

At the bottom left of the form is a button labeled 'Avaliar'.

Ainda no campo ‘Avaliações’, mais especificamente em ‘Nova avaliação’, o SGPA indica os parâmetros de campo obrigatório (no caso, todas as condições listadas anteriormente, surgindo a mensagem “Esse campo é obrigatório”), sem os quais o SGPA apresenta mensagem de erro (‘Parâmetros de avaliação inválidos’, no alto da tela, em destaque na cor vermelha) e o realce, também na cor vermelha, nos locais dos dados necessários para a inclusão, de acordo com o que se visualiza na Figura 31.

Figura 31 – Dados de campo obrigatório em uma nova avaliação no SGPA.

The screenshot shows the 'Nova avaliação' form with error messages. At the top of the form area, there is a red banner with the text 'Parâmetros de avaliação inválidos'. Below this banner, the form fields are highlighted with red borders, and red text 'Esse campo é obrigatório' is displayed below each field:

- ACN:** 'Esse campo é obrigatório'
- PCN:** 'Esse campo é obrigatório'
- IRI:** 'Esse campo é obrigatório'
- PCI:** 'Esse campo é obrigatório'
- P:** 'Esse campo é obrigatório'
- μ :** 'Esse campo é obrigatório'

The 'Avaliar' button is still visible at the bottom left.

Ainda em ‘Nova avaliação’ é possível selecionar os equipamentos (seis no total, já descritos na Tabela 13, do capítulo 2) e a velocidade de medição (geralmente duas, de 65km/h e 95km/h), a depender do tipo de equipamento utilizado para a determinação do coeficiente de atrito – μ (Figuras 32 e 33), com base nas especificações das legislações vigentes e nos ensaios realizados nas pistas analisadas.

Figura 32 – Seleção do equipamento de medição do coeficiente de atrito no SGPA.

The screenshot shows the 'Nova avaliação' form in the SGPA system. The left sidebar contains navigation links: Dashboard, Aeroportos, Avaliações (selected), Estratégias, and Histórico. The main form area is titled 'Nova avaliação' and includes the following fields:

- Aeroporto:** Dropdown menu with the text 'Escolha um aeroporto'.
- Pista:** Dropdown menu with the text 'Escolha uma pista'.
- ACN:** Text input field with 'F/A/X/T' and 'Campo obrigatório' label below.
- PCN:** Text input field with 'F/A/X/T' and 'Campo obrigatório' label below.
- IRI:** Text input field with 'm/Km' and 'Campo obrigatório' label below.
- PCI:** Text input field with 'Campo obrigatório' label below.
- P:** Text input field with 'mm' and 'Campo obrigatório' label below.
- Equipamento de medição:** Dropdown menu with 'Mu-Meter' selected. The dropdown list shows: Mu-Meter, Grip Tester, Runaway Friction Tester, Skiddometer, Surface Friction Tester, and Trata.
- Velocidade de medição:** Dropdown menu with '65km/h' selected. The dropdown list shows: 65km/h, 95km/h.
- μ :** Text input field with 'Campo obrigatório' label below.

Figura 33 – Seleção da velocidade de medição do coeficiente de atrito no SGPA.

This screenshot is identical to Figure 32, showing the 'Nova avaliação' form. The primary difference is in the 'Velocidade de medição' dropdown menu, where '65km/h' is now selected and highlighted in blue, while '95km/h' is also visible in the dropdown list. The 'Equipamento de medição' dropdown menu is now set to 'Mu-Meter'.

Para o campo ‘Estratégias’, cuja tela do programa é apresentada na Figura 34, o SGPA contempla a descrição e os custos por unidade de cada uma das 6 (seis) estratégias de manutenção e das 5 (cinco) estratégias de reabilitação. Nesse campo, é possível, ainda, a quem possui autorização específica no SGPA, editar os valores de custos por unidade, a fim de adequação ou necessidade de atualização dos custos que os baseiam. Ao se acionar o botão “Editar” ao lado de cada estratégia, surgem, por exemplo, as telas mostradas na Figura 35, para os serviços de M1: *Grooving* e R7: Recomposição de camadas granulares.

Figura 34 – Descrição das estratégias e custos por unidade no SGPA.

Project name

- Dashboard
- Aeroportos
- Avaliações
- Estratégias
- Histórico

Estratégias

Descrição	Custo por unidade	Editar
M0: Inspeções de acompanhamento	R\$ 0.0 /m	Editar
M1: Grooving	R\$ 40.06 /m ²	Editar
M2: Selagem de trincas	R\$ 1.93 /m	Editar
M3: Remoção do contaminante	R\$ 20.49 /m ²	Editar
M4: Retexturização do revestimento	R\$ 28.23 /m ²	Editar
M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	R\$ 2.49 /m ²	Editar
R6: Reciclagem do pavimento	R\$ 65.91 /m ³	Editar
R7: Recomposição de camadas granulares	R\$ 55.74 /m ³	Editar
R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	R\$ 297.33 /m ³	Editar
R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R\$ 213.64 /m ³	Editar
R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA)	R\$ 751.36 /m ³	Editar

Figura 35 – Edição de custos por unidade das estratégias no SGPA.

Project name

- Dashboard
- Aeroportos
- Avaliações
- Estratégias
- Histórico

Estratégias

Descrição	Custo por unidade	Editar
M0: Inspeções de acompanhamento	R\$ 0.0 /m	Editar
M1: Grooving	R\$ 40.06 /m ²	Editar
M2: Selagem de trincas	R\$ 1.93 /m	Editar
M3: Remoção do contaminante	R\$ 20.49 /m ²	Editar
M4: Retexturização do revestimento	R\$ 28.23 /m ²	Editar
M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	R\$ 2.49 /m ²	Editar
R6: Reciclagem do pavimento	R\$ 65.91 /m ³	Editar
R7: Recomposição de camadas granulares	R\$ 55.74 /m ³	Editar
R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	R\$ 297.33 /m ³	Editar
R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R\$ 213.64 /m ³	Editar
R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA)	R\$ 751.36 /m ³	Editar

Project name

- Dashboard
- Aeroportos
- Avaliações
- Estratégias
- Histórico

Estratégias

Descrição	Custo por unidade	Editar
M0: Inspeções de acompanhamento	R\$ 0.0 /m	Editar
M1: Grooving	R\$ 40.06 /m ²	Editar
M2: Selagem de trincas	R\$ 1.93 /m	Editar
M3: Remoção do contaminante	R\$ 20.49 /m ²	Editar
M4: Retexturização do revestimento	R\$ 28.23 /m ²	Editar
M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento	R\$ 2.49 /m ²	Editar
R6: Reciclagem do pavimento	R\$ 65.91 /m ³	Editar
R7: Recomposição de camadas granulares	R\$ 55.74 /m ³	Editar
R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	R\$ 297.33 /m ³	Editar
R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R\$ 213.64 /m ³	Editar
R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA)	R\$ 751.36 /m ³	Editar

Por fim, no campo ‘Histórico’, a partir do aeroporto e da(s) pista(s) cadastrados, é possível buscar o histórico de avaliações, conforme os períodos de análise (data inicial e data final), de acordo com o exposto na Figura 36. Cabe ressaltar que, se nenhum período for selecionado, o SGPA apresenta todas as avaliações registradas, armazenadas e disponíveis no banco de dados para aquele aeroporto, conforme se expõe na Figura 37.

Figura 36 – Busca por avaliações cadastradas por período no SGPA.

The screenshot shows the 'Histórico' section of the SGPA interface. On the left, a navigation menu includes 'Dashboard', 'Aeroportos', 'Avaliações', 'Estratégias', and 'Histórico'. The main area is titled 'Histórico' and contains a search form 'Buscar avaliações'. The form has four input fields: 'Aeroporto' (Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE), 'Pista' (RWY 13/31), 'Data inicial' (06/09/2015), and 'Data final' (06/09/2015). A blue 'Enviar' button is located below the date fields. A red arrow points to the 'Enviar' button. Below the form, a 'Resultados' section displays a list of four evaluation entries for RWY 13/31 on 6/9/2015.

Figura 37 – Exemplo de todo o histórico de avaliações existentes no SGPA.

The screenshot shows the 'Histórico' section of the SGPA interface. The 'Resultados' section displays a list of 15 evaluation entries for RWY 13/31. The dates range from 6/9/2015 to 7/9/2015. A red arrow points to the 'Resultados' header.

Quando o aeroporto e pista selecionados não possuem avaliações inseridas, o SGPA retorna ao usuário com a informação “Nenhuma avaliação encontrada”, conforme se visualiza na Figura 38, em destaque na cor azul, na parte inferior da tela do SGPA.

Figura 38 – Exemplo de histórico de avaliações inexistentes no SGPA.

Project name

Dashboard
Aeroportos
Avaliações
Estratégias
Histórico

Histórico

Q Buscar avaliações

Aeroporto
Aeroporto Internacional Gov. André Franco Montoro - Guarulhos/SP

Pista
RWY 09R/27L

Data inicial
31/12/2015

Data final
31/12/2015

Enviar

Resultados

Nenhuma avaliação encontrada

As informações que são apresentadas ao selecionar-se uma determinada avaliação, dizem respeito aos dados levantados nas avaliações de campo, bem como a solução escolhida pelo operador de aeródromo (selecionada dentre as possíveis estratégias de manutenção e reabilitação, na fase de inclusão dos dados levantados em campo, bem como da área de intervenção), com os respectivos custos totais. Dois exemplos desse histórico de avaliações realizadas são apresentados na Figura 39.

Figura 39 – Exemplos de históricos de avaliações realizadas no SGPA.

Project name

Dashboard
Aeroportos
Avaliações
Estratégias
Histórico

Avaliações realizadas

Aeroporto Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE

Pista RWY 13/31

Levantamento de condições

ACN: 60.0 PCN: 66.0 IRI: 2.0 PCI 85.0 P: 0.6
Equipamento de medição: MU-Meter
Velocidade de medição: 65km/h
 μ : 0.6

Solução adotada

M0: Inspeções de acompanhamento R\$: 0.0
R\$: 0.0

Aeroporto Aeroporto Regional do Cariri - Juazeiro do Norte

Pista RWY 13/31

Levantamento de condições

ACN: 60.0 PCN: 65.0 IRI: 1.5 PCI 60.0 P: 0.7
Equipamento de medição: Grip Tester
Velocidade de medição: 65km/h
 μ : 0.6

Solução adotada

M0: Inspeções de acompanhamento R\$: 0.0
M2: Selagem de trincas R\$: 193.0
R\$: 193.0

5.2 Cenários de Simulação

Para melhor entendimento e utilização do programa computacional desenvolvido para o SGPA, dez diferentes cenários serão simulados e detalhados nos próximos subitens, fundamentados nos seis parâmetros das condições – estrutural (ACN e PCN), funcional (PCI e IRI) e aderência (P e μ) – de acordo com os seguintes casos e combinações da Tabela 26.

Tabela 26 – Descrição dos casos e combinações analisados no SGPA.

Caso	Descrição					Combinação (conforme Figura 21)
I	Todos os parâmetros adequados					1
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
II	Todos os parâmetros insatisfatórios					72
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
III	ACN/PCN insatisfatório, demais parâmetros adequados					37
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
IV	PCI degradado, demais parâmetros adequados					7
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
V	PCI insatisfatório, demais parâmetros adequados					13
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
VI	IRI insatisfatório, demais parâmetros adequados					19
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
VII	P insatisfatório, demais parâmetros adequados					4
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
VIII	μ degradado demais parâmetros adequados					2
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
IX	μ insatisfatório, demais parâmetros adequados					3
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
X	ACN/PCN adequado, demais parâmetros insatisfatórios					36
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	

Os diferentes cenários foram escolhidos de modo a se analisar uma pista de pouso e decolagem na melhor situação, quando todos os parâmetros estão adequados (Caso I), na situação mais crítica, quando todos os parâmetros são considerados insatisfatórios (Caso II),

bem como para cada parâmetro das condições de modo degradado ou insatisfatório (Casos III a IX). O cenário ACN/PCN adequado, demais parâmetros insatisfatórios (Caso X), foi escolhido para análise no SGPA devido ser o único a propor três soluções de estratégias de manutenção e reabilitação, conforme descrito anteriormente.

Será utilizado como exemplo para todos os casos anteriormente listados o Aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado em Fortaleza, Estado do Ceará. Esse aeroporto, construído em meados de 1943 para apoio às operações da II Guerra Mundial e com uma última grande reforma (construção de um novo terminal de passageiros e um novo pátio de manobras e estacionamento de aeronaves) entre 1996 e 1998, possui, de acordo com Oliveira (2009) e DECEA (2013), um complexo de pátios e pistas composto de:

- a) 4 (quatro) pátios de manobras e estacionamento de aeronaves: um para aviação geral/executiva, um para aviação de carga e dois para aviação comercial. Todos executados em pavimentação rígida (concreto cimento Portland);
- b) 14 (quatorze) pistas de taxiamento: com larguras que variam de 22 a 33 metros, todas construídas em pavimentação flexível (concreto asfáltico); e
- c) uma única pista de pouso e decolagem, denominada RWY 13/31, com uma extensão de 2.545m e largura de 45m, executada em pavimentação flexível (concreto asfáltico), resistência do pavimento com PCN igual a 66/F/A/X/T, com um último recapeamento completo ocorrido em 2011.

5.2.1 Cenários de simulação – Caso I: Todos os parâmetros adequados

A Figura 40 mostra o cadastro no SGPA do Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza – CE, com uma única pista de pouso e decolagem, denominada RWY 13/31.

Figura 40 – Cadastro do Aeroporto Internacional Pinto Martins e pista no SGPA.

The figure consists of two screenshots of a web application interface. The top screenshot shows the 'Aeroportos' (Airports) management page. It features a sidebar with navigation options: Dashboard, Aeroportos (selected), Avaliações, Estratégias, and Histórico. The main content area has a 'Cadastrar aeroporto' button and a table with one entry: 'Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE' with '1' runway. Action buttons 'Editar' and 'Deletar' are visible for this entry. The bottom screenshot shows the 'Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE' detail page. It has an 'Adicionar pista' button and a table with one entry: 'Pista' 'RWY 13/31'. Action buttons 'Editar' and 'Deletar' are visible for this entry.

Todos os parâmetros das condições físicas considerados adequados foram inseridos no SGPA, conforme demonstra a Figura 41 e o destaque da Figura 42, sendo: a) Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T); b) Irregularidade longitudinal: IRI = 2,0 (m/km); c) Índice de Condição do Pavimento: PCI = 85; d) Profundidade média da macrotextura: P = 0,60 (mm); e, e) Coeficiente de atrito: $\mu = 0,60$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 41 – Visão geral do cadastro de todos os parâmetros adequados no SGPA.

The screenshot shows a web interface for a new evaluation. On the left is a navigation menu with 'Avaliações' selected. The main area is titled 'Nova avaliação' and contains the following fields:

- Aeroporto:** Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
- Pista:** RWY 13/31
- ACN:** 60 (Campo obrigatório)
- PCN:** 66 (Campo obrigatório)
- IRI:** 2.0 (Campo obrigatório)
- PCI:** 85 (Campo obrigatório)
- P:** 0.60 (Campo obrigatório)
- Equipamento de medição:** Mu-Meter
- Velocidade de medição:** 65km/h
- μ :** 0.60 (Campo obrigatório)

A 'Avalliar' button is located at the bottom left of the form.

Figura 42 – Destaque do cadastro de todos os parâmetros adequados no SGPA.

This is a close-up view of the form fields from Figure 41. The fields and their values are:

- ACN:** 60 (Campo obrigatório)
- PCN:** 66 (Campo obrigatório)
- IRI:** 2.0 (Campo obrigatório)
- PCI:** 85 (Campo obrigatório)
- P:** 0.60 (Campo obrigatório)
- Equipamento de medição:** Mu-Meter
- Velocidade de medição:** 65km/h
- μ :** 0.60 (Campo obrigatório)

Após a inserção dos dados de entrada, ao se clicar no botão “Avaliar” (localizado no canto inferior esquerdo da tela, logo abaixo dos dados cadastrados), o SGPA apresenta o ‘Resultado da Avaliação’ (Figura 43), com a exposição de todos os dados de entrada das condições informadas para o aeroporto de estudo e as ‘Possíveis soluções’, estas oriundas das combinações das condições (ver Tabela 24, para combinação [1]).

Percebe-se, ainda pela Figura 43, que no campo das ‘Possíveis soluções’, existem lacunas para inserção das medidas de comprimento, largura e profundidade, todas em unidades de metro. Neste caso específico, apenas o campo comprimento está ativo, pois trata-se da única solução ‘M0: Inspeção de acompanhamento’.

Figura 43 – Resultado da avaliação para todos os parâmetros adequados no SGPA.

Project name

Dashboard

Aeropostos

Avaliações

Estratégias

Histórico

Resultado da avaliação

Condições Informadas

Aeroporto: Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE

Pista: RWY 13/31

ACN: 60.0

PCN: 66.0

IRI: 2.0

PCI: 85.0

P: 0.6

Equipamento de medição: GripTester

Velocidade de medição: 65km/h

μ : 0.6

Possíveis soluções

Comprimento: Largura: Profundidade:

Solução

M0: Inspeções de acompanhamento R\$

Custo total: R\$

Avaliar

Condições Informadas

Aeroporto: Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE

Pista: RWY 13/31

ACN: 60.0

PCN: 66.0

IRI: 2.0

PCI: 85.0

P: 0.6

Equipamento de medição: Mu-Meter

Velocidade de medição: 65km/h

μ : 0.6

Possíveis soluções

Comprimento: Largura: Profundidade:

Solução

M0: Inspeções de acompanhamento R\$

Custo total: R\$

Avaliar

Para a determinação dos custos unitários, e posteriormente do custo total, é necessário incluir, para as possíveis soluções, as medidas da área de intervenção da pista avaliada. Com todos os parâmetros em condições adequadas neste Caso I, o SGPA sugere como solução a estratégia ‘M0: Inspeções de acompanhamento’, tendo o resultado da Figura 44, como visto, sem custos para o operador de aeródromo, mesmo inserindo-se o comprimento total da RWY13/31, de 2.545m.

Figura 44 – Indicação das possíveis soluções no SGPA.

The image shows two screenshots of the SGPA interface. The top screenshot is titled 'Resultado da avaliação' and displays the following information:

- Condições Informadas:**
 - Aeroporto: Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
 - Pista: RWY 13/31
 - ACN: 60.0
 - PCN: 66.0
 - IRI: 2.0
 - PCI: 85.0
 - P: 0.6
 - Equipamento de medição: GripTester
 - Velocidade de medição: 65km/h
 - μ: 0.6
- Possíveis soluções:**
 - Comprimento: 2545 | Largura: | Profundidade: |
 - Solução: M0: Inspeções de acompanhamento | R\$ 0.00
 - Custo total: R\$0.00
 - Botão: Avaliar

A red box highlights the 'Possíveis soluções' section, and a red arrow points from it to a larger, detailed view of the same section below.

The bottom screenshot is a detailed view of the 'Possíveis soluções' section, showing the same information as above, but with a larger font and more prominent layout.

É preciso, ainda, confirmar a avaliação cadastrada com a respectiva solução adotada, através do acionamento do botão “Avaliar”, localizado logo abaixo das ‘Possíveis soluções’. A confirmação é comprovada pela mensagem “Avaliação realizada com sucesso”, em destaque na cor verde, que surge no alto da tela na página do SGPA gerada em seguida, conforme se apresenta na Figura 45.

Figura 45 – Confirmação de avaliação realizada no SGPA.

The screenshot shows the 'Nova avaliação' (New evaluation) form in the SGPA system. A green banner at the top indicates 'Avaliação realizada com sucesso' (Evaluation completed successfully). A red arrow points to this banner. The form includes several input fields: 'Aeroporto' (Airport) with a dropdown menu, 'Pista' (Runway) with a dropdown menu, 'ACN' (ACN) and 'PCN' (PCN) with text input fields and 'Campo obrigatório' (Required field) labels, 'IRI' (IRI) with a text input field and 'Campo obrigatório' label, 'PCI' (PCI) with a text input field and 'Campo obrigatório' label, 'P' (P) with a text input field and 'Campo obrigatório' label, 'Equipamento de medição' (Measurement equipment) with a dropdown menu, and 'Velocidade de medição' (Measurement speed) with a dropdown menu. A 'μ' (mu) field is also present with a 'Campo obrigatório' label. A 'Avaliar' (Evaluate) button is located at the bottom left of the form.

Para visualizar o resultado global da avaliação inserida no SGPA, bem como a solução escolhida com os respectivos custos totais, é preciso selecionar o aeroporto e a respectiva pista, com a data inicial e final de interesse, como detalhado na Figura 46.

Figura 46 – Seleção do aeroporto, pista e período de avaliação no SGPA.

The screenshot shows the 'Histórico' (History) page in the SGPA system. It features a search bar labeled 'Buscar avaliações' (Search evaluations). Below the search bar, there are several filter fields: 'Aeroporto' (Airport) with a dropdown menu showing 'Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE', 'Pista' (Runway) with a dropdown menu, 'Data inicial' (Start date) with a text input field showing '13/09/2015', and 'Data final' (End date) with a text input field showing '31/12/2015'. A calendar widget is open for the 'Data final' field, showing the month of December 2015. An 'Enviar' (Send) button is located below the date fields.

Com esse procedimento, ao se clicar em 'Enviar', logo abaixo das datas, as avaliações disponíveis para o período são as que se apresentam na Figura 47. Ao se acionar em qualquer um dos resultados de avaliações disponíveis, o que se apresenta é o resumo dos dados e informações da Figura 48. Observa-se que, uma vez inseridos os dados e realizada a avaliação das condições, bem como a seleção da solução proposta, o SGPA armazena essas informações no seu banco de dados, sem possibilidades de alterações posteriores.

Figura 47 – Resultado das avaliações existentes no período indicado no SGPA.

The screenshot shows the 'Histórico' (History) page in the SGPA system. The left sidebar contains navigation options: Dashboard, Aeroportos, Avaliações, Estratégias, and Histórico. The main content area is titled 'Histórico' and includes a search bar 'Q Buscar avaliações'. Below the search bar, there are filters for 'Aeroporto' (Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE) and 'Pista' (Escolha uma pista). The search criteria are set to 'Data inicial: 13/09/2015' and 'Data final: 31/12/2015'. A list of results is displayed, showing multiple evaluations for runway RWY 13/31 performed on 13/9/2015, one on 11/11/2015, and one on 31/12/2015. A red box highlights the search filters and the list of results, with an arrow pointing to a zoomed-in view of the same section.

This is a zoomed-in view of the search filters and results list from Figure 47. It shows the 'Data inicial' (13/09/2015) and 'Data final' (31/12/2015) fields, an 'Enviar' button, and a list of results. The results list contains 11 entries, all for runway RWY 13/31, with dates: 13/9/2015 (10 times), 11/11/2015 (1 time), and 31/12/2015 (1 time).

Figura 48 – Resultado da avaliação selecionada no SGPA.

The screenshot shows the 'Avaliações realizadas' (Completed Evaluations) page in the SGPA system. The left sidebar contains navigation options: Dashboard, Aeroportos, Avaliações, Estratégias, and Histórico. The main content area is titled 'Avaliações realizadas' and includes a search bar. Below the search bar, there are filters for 'Aeroporto' (Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE) and 'Pista RWY 13/31'. The search criteria are set to 'Levantamento de condições'. The results list shows one evaluation for runway RWY 13/31 performed on 13/9/2015. The detailed information for this evaluation is displayed, including the following data:

- ACN: 60.0 PCN: 66.0 IRI: 2.0 PCI 85.0 P: 0.6
- Equipamento de medição: GripTester
- Velocidade de medição: 65km/h
- μ : 0.6

The 'Solução adotada' (Adopted Solution) section shows 'M0: Inspeções de acompanhamento' with a value of 'R\$: 0.0'.

5.2.2 Cenários de simulação – Caso II: Todos os parâmetros insatisfatórios

Neste subitem, para todas as condições insatisfatórias, os parâmetros das condições que foram inseridos no SGPA (conforme Figura 49) são:

- Estrutura: ACN = 70 e PCN = 66 (F/A/X/T);
- Irregularidade longitudinal: IRI = 4,0 (m/km);
- Índice de Condição do Pavimento: PCI = 40;
- Profundidade média da macrotextura: P = 0,50 (mm);
- Coefficiente de atrito: μ = 0,35 (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 49 – Cadastro de todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.

Com os dados anteriores inseridos, a Figura 50 apresenta, após acionar o comando “Avaliar”, a tela das ‘Possíveis soluções’, sugerindo duas possíveis soluções e a indicação obrigatória para inserção das medidas de comprimento, largura e profundidade (espessura).

Figura 50 – Possíveis soluções para todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.

Solução	Tipo de Solução	Custo (R\$)
Solução 1	R6: Reciclagem do pavimento	R\$
	M1: Grooving	R\$
	M4: Retexturização do revestimento	R\$
	R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R\$
Custo total: R\$		
Solução 2	R7: Recomposição de camadas granulares	R\$
	R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA)	R\$
Custo total: R\$		

Adotou-se como medidas da área de intervenção da pista de pouso e decolagem, um comprimento de 100,0m, uma largura de 10,0m e uma profundidade de 0,05m (para se manter o padrão de análise futura dos cenários simulados, essas medidas serão adotadas para todos os demais casos). Com isso, o SGPA indica os custos para cada estratégia, bem como o custo total por solução, conforme Figura 51.

Figura 51 – Custos das soluções para todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.

Possíveis soluções	
Comprimento:	100
Largura:	10
Profundidade:	0.05
Solução 1	
R6: Reciclagem do pavimento	R\$ 3295.50
M1: Grooving	R\$ 40060.00
M4: Retexturização do revestimento	R\$ 28230.00
R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	R\$ 10682.00
Custo total: R\$82267.50	
Solução 2	
R7: Recomposição de camadas granulares	R\$ 2787.00
R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA)	R\$ 37568.00
Custo total: R\$40355.00	
<input type="button" value="Avaliar"/>	

Optou-se pela seleção de menor custo total, no caso a Solução 2 (composta de R7: Recomposição de camadas granulares + R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA)), com um valor total de R\$ 40.355,00 (a Solução 1 tem um custo total de R\$ 82.267,50). Com a escolha da Solução 2, o SGPA apresenta, no campo ‘Avaliações realizadas’, o resumo dos dados do ‘Levantamento de condições’ e da ‘Solução adotada’, expostos na Figura 52. Todas essas informações encontram-se armazenadas no SGPA para consulta dos interessados envolvidos.

Figura 52 – Avaliação realizada com todos os parâmetros insatisfatórios no SGPA.

Project name	
Dashboard	Avaliações realizadas
Aeroportos	Aeroporto Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
Avaliações	Pista RWY 13/31
Estratégias	Levantamento de condições
Histórico	ACN: 70.0 PCN: 66.0 IRI: 4.0 PCI 40.0 P: 0.5 Equipamento de medição: GripTester Velocidade de medição: 65km/h μ : 0.35
	Solução adotada
	R7: Recomposição de camadas granulares R\$ 2787.0 R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA) R\$ 37568.0 R\$ 40355.0

5.2.3 Cenários de simulação – Caso III: ACN/PCN insatisfatório, demais parâmetros adequados

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no programa consideram a condição estrutural (ACN/PCN) insatisfatória (ou seja, valores de $ACN > PCN$) e os demais parâmetros adequados. Desse modo, têm-se os dados seguintes e os da Figura 53:

- Estrutura: $ACN = 70$ e $PCN = 66$ (F/A/X/T);
- Irregularidade longitudinal: $IRI = 2,0$ (m/km);
- Índice de Condição do Pavimento: $PCI = 85$;
- Profundidade média da macrotextura: $P = 0,60$ (mm);
- Coefficiente de atrito: $\mu = 0,60$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 53 – Cadastro dos parâmetros com ACN/PCN insatisfatório no SGPA.

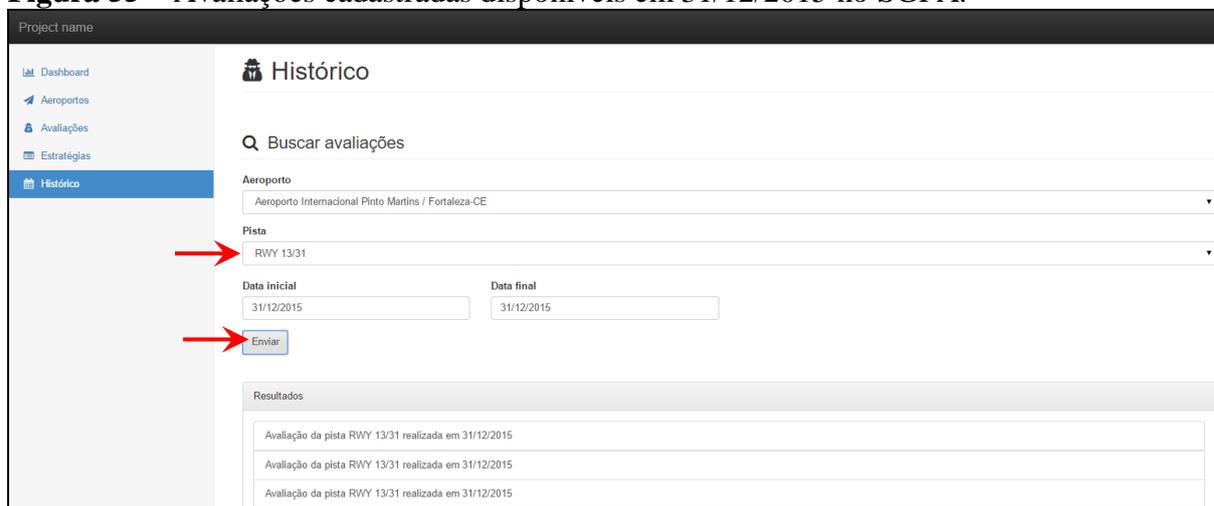
Neste Caso III, adotaram-se as mesmas medidas da área de intervenção do Caso II. Com isso, o SGPA indica uma única solução: estratégias R8 + R9, que se expõe na Figura 54, a um custo total de R\$ 25.548,50.

Figura 54 – Resultado da avaliação para ACN/PCN insatisfatórios no SGPA.

Solução	Custo (R\$)
R8: Reforço do pavimento: convencional ou com fresagem	14866.50
R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	10682.00
Custo total:	R\$25548.50

Quando se busca o histórico de avaliações, o SGPA tem armazenado no campo ‘Histórico’ todas as avaliações cadastradas para o dia (até o presente momento das simulações do capítulo desta Tese, tem-se os Casos I, II e III), conforme se visualiza na Figura 55.

Figura 55 – Avaliações cadastradas disponíveis em 31/12/2015 no SGPA.



Ao selecionar a última ‘Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015’ da lista de ‘Resultados’, correspondente ao Caso III, tem-se os dados do ‘Levantamento de condições’ e a ‘Solução adotada’, selecionada no SGPA, apresentados na Figura 56.

Figura 56 – Avaliações cadastradas para ACN/PCN insatisfatórios no SGPA.



5.2.4 Cenários de simulação – Caso IV: PCI degradado, demais parâmetros adequados

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no programa consideram a condição funcional (PCI) degradado (valores entre 55 e 70) e os demais parâmetros adequados. Desse modo, têm-se os dados seguintes e o exposto na Figura 57:

- a) Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);
- b) Irregularidade longitudinal: IRI = 2,0 (m/km);
- c) Índice de Condição do Pavimento: PCI = 65;
- d) Profundidade média da macrotextura: P = 0,60 (mm);
- e) Coeficiente de atrito: $\mu = 0,60$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 57 – Cadastro dos parâmetros para PCI degradado no SGPA.

The screenshot shows a web application interface for recording assessment parameters. The page title is 'Nova avaliação'. The left sidebar contains navigation links: Dashboard, Aeroportos, Avaliações (selected), Estratégias, and Histórico. The main form area is titled 'Nova avaliação' and contains the following fields:

- Aeroporto:** Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
- Pista:** RWY 13/31
- ACN:** 60 (Campo obrigatório)
- PCN:** 66 (Campo obrigatório)
- IRI:** 2.0 (Campo obrigatório)
- PCI:** 65 (Campo obrigatório)
- P:** 0.60 (Campo obrigatório)
- Equipamento de medição:** Mu-Meter
- Velocidade de medição:** 65km/h
- μ :** 0.60 (Campo obrigatório)

At the bottom left of the form is a button labeled 'Avaliar'.

Neste Caso IV, o SGPA indica uma única solução: estratégias M0 + M2, que se expõe na Figura 58. A estratégia M2: Selagem de trincas é um serviço de manutenção realizado para preenchimento de trincas com material selante, necessitando, apenas de uma medida, no caso o comprimento (inserido como de 100,0m, conforme adotado anteriormente). A estratégia M0: Inspeções de acompanhamento não possui custos de realização dos serviços. Desse modo, o valor total da solução foi de R\$ 193,00.

Figura 58 – Resultado da avaliação para PCI degradado no SGPA.

The screenshot shows the 'Avaliações realizadas' section of the SGPA system. It displays the following information:

- Aeroporto:** Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
- Pista:** RWY 13/31
- Levantamento de condições:**

ACN: 60.0 PCN: 66.0 IRI: 2.0 PCI 65.0 P: 0.6
Equipamento de medição: GripTester
Velocidade de medição: 65km/h
 μ : 0.6
- Solução adotada:**

Solução	Valor (R\$)
M0: Inspeções de acompanhamento	R\$: 0.0
M2: Selagem de trincas	R\$: 193.0
Total	R\$: 193.0

5.2.5 Cenários de simulação – Caso V: PCI insatisfatório, demais parâmetros adequados

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no SGPA consideram a condição funcional (PCI) insatisfatória (valores menores que 59) e os demais parâmetros adequados. Desse modo, têm-se os dados seguintes e o exposto na Figura 59:

- Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);
- Irregularidade longitudinal: IRI = 2,0 (m/km);
- Índice de Condição do Pavimento: PCI = 45;
- Profundidade média da macrotextura: P = 0,60 (mm);
- Coefficiente de atrito: $\mu = 0,60$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 59 – Resultado da avaliação para PCI insatisfatório no SGPA.



Neste Caso V, adotaram-se as mesmas medidas anteriormente mencionadas para a área de intervenção da pista. Com isso, o SGPA indica uma única solução (estratégias M2: Selagem de trincas + M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento), também exposto na Figura 59, com custo total dos serviços de R\$ 2.683,00.

5.2.6 Cenários de simulação – Caso VI: IRI insatisfatório, demais parâmetros adequados

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no programa consideram a condição funcional (IRI) insatisfatória (valores maiores que 2,0m/km) e os demais parâmetros considerados adequados. Desse modo, têm-se os dados seguintes e o exposto na Figura 60:

- Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);
- Irregularidade longitudinal: IRI = 4,0 (m/km);

- c) Índice de Condição do Pavimento: $PCI = 85$;
- d) Profundidade média da macrotextura: $P = 0,60$ (mm);
- e) Coeficiente de atrito: $\mu = 0,60$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 60 – Cadastro dos parâmetros para IRI insatisfatório no SGPA.

Neste Caso VI, adotaram-se as mesmas medidas anteriormente mencionadas. Com isso, o SGPA indica uma única solução (a saber, estratégia M5: Revestimentos asfálticos não-estruturais: microrrevestimento), que se expõe na Figura 61, com custo total dos serviços de R\$ 2.490,00.

Figura 61 – Resultado da avaliação para IRI insatisfatório no SGPA.

5.2.7 Cenários de simulação – Caso VII: P insatisfatório, demais parâmetros adequados

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no programa consideram a condição de aderência (Profundidade Média da Macrotextura – P) insatisfatória

(valores menores que 0,60mm) e os demais parâmetros adequados. Desse modo, têm-se os dados seguintes e o exposto na Figura 62:

- Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);
- Irregularidade longitudinal: IRI = 2,0 (m/km);
- Índice de Condição do Pavimento: PCI = 85;
- Profundidade média da macrotextura: P = 0,45 (mm);
- Coefficiente de atrito: $\mu = 0,60$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 62 – Cadastro dos parâmetros para P insatisfatório no SGPA.

Project name

Dashboard

Aeroportos

Avaliações

Estratégias

Histórico

Nova avaliação

Aeroporto: Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE

Pista: RWY 13/31

ACN: 60
Campo obrigatório

PCN: 66
Campo obrigatório

IRI: 2.0
Campo obrigatório

PCI: 85
Campo obrigatório

P: 0.45
Campo obrigatório

Equipamento de medição: Mu-Meter

Velocidade de medição: 65km/h

μ : 0.60
Campo obrigatório

Avaliar

Neste Caso VII, adotaram-se as mesmas medidas anteriormente mencionadas. Com isso, o SGPA indica uma única solução (estratégia M3: Remoção do contaminante), que se expõe na Figura 63, com custo total dos serviços de R\$ 20.490,00.

Figura 63 – Resultado da avaliação para P insatisfatório no SGPA.

Project name

Dashboard

Aeroportos

Avaliações realizadas

Aeroporto: Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE

Pista: RWY 13/31

Levantamento de condições

ACN: 60.0 PCN: 66.0 IRI: 2.0 PCI: 85.0 P: 0.45
Equipamento de medição: Mu-Meter
Velocidade de medição: 65km/h
 μ : 0.6

Solução adotada

M3: Remoção do contaminante R\$. 20490.0

5.2.8 Cenários de simulação – Caso VIII: μ degradado, demais parâmetros adequados

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no programa consideram a condição de aderência (coeficiente de atrito – μ) degradado (valores entre 0,41 e 0,51, considerando o equipamento *Mu-Meter*, com uma velocidade de medição de 65km/h) e os demais parâmetros adequados. Assim, têm-se os dados seguintes e o exposto na Figura 64:

- a) Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);
- b) Irregularidade longitudinal: IRI = 2,0 (mm/m);
- c) Índice de Condição do Pavimento: PCI = 85;
- d) Profundidade média da macrotextura: P = 0,60 (mm);
- e) Coeficiente de atrito: μ = 0,45 (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 64 – Resultado da avaliação para μ degradado no SGPA.



Neste Caso VIII, adotaram-se as mesmas medidas anteriormente mencionadas. Com isso, o SGPA indica uma única solução (a mesma do Caso VII, a saber estratégia M3: Remoção do contaminante), que se expõe na Figura 64, obviamente com o mesmo custo total dos serviços de R\$ 20.490,00.

5.2.9 Cenários de simulação – Caso IX: μ insatisfatório, demais parâmetros adequados

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no programa consideram a condição de aderência (coeficiente de atrito – μ) insatisfatória (valores menores que 0,41, considerando o equipamento *Mu-Meter*, com uma velocidade de 65km/h) e os demais parâmetros adequados. Desse modo, têm-se os dados seguintes e os da Figura 65:

- a) Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);

- b) Irregularidade longitudinal: $IRI = 2,0$ (mm/m);
- c) Índice de Condição do Pavimento: $PCI = 85$;
- d) Profundidade média da macrotextura: $P = 0,60$ (mm);
- e) Coeficiente de atrito: $\mu = 0,35$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Neste Caso IX, adotaram-se as mesmas medidas anteriormente mencionadas. Com isso, o SGPA indica duas possíveis soluções (a saber, estratégias M3: Remoção do contaminante ou M4: Retexturização do revestimento). Optando-se pela solução de mais baixo custo total (Solução 1 – M3: Remoção do contaminante, com R\$ 20.490,00, já que a Solução 2 tem custo total de R\$ 28.230,00), tem-se o que se expõe na Figura 65.

Figura 65 – Resultado da avaliação e possíveis soluções para μ insatisfatório no SGPA.

The screenshot displays the 'Resultado da avaliação' (Evaluation Results) page in the SGPA system. The interface is divided into two main sections: 'Condições Informadas' (Reported Conditions) and 'Possíveis soluções' (Possible Solutions).

Condições Informadas:

- Aeroporto: Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
- Pista: RWY 13/31
- ACN: 60.0
- PCN: 66.0
- IRI: 2.0
- PCI: 85.0
- P: 0.6
- Equipamento de medição: Mu-Meter
- Velocidade de medição: 65km/h
- μ : 0.35

Possíveis soluções:

- Solução 1:** M3: Remoção do contaminante. Custo total: R\$20490.00.
- Solução 2:** M4: Retexturização do revestimento. Custo total: R\$28230.00.

Additional fields for 'Possíveis soluções' include 'Largura: 10.0', 'Comprimento: 100.0', and 'Profundidade:'. A 'Avaliar' button is also visible.

O histórico da avaliação realizada para este Caso IX é o que consta na Figura 66.

Figura 66 – Resultado da avaliação para μ insatisfatório no SGPA.

The screenshot displays the 'Avaliações realizadas' (Completed Evaluations) page in the SGPA system. It shows the details of a specific evaluation performed at the 'Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE' on 'Pista RWY 13/31'.

Levantamento de condições:

- ACN: 60.0 PCN: 66.0 IRI: 2.0 PCI: 85.0 P: 0.6
- Equipamento de medição: Mu-Meter
- Velocidade de medição: 65km/h
- μ : 0.35

Solução adotada:

- M3: Remoção do contaminante. Custo: R\$ 20490.0

5.2.10 Cenários de simulação – Caso X: ACN/PCN adequado, demais parâmetros insatisfatórios

Neste subitem, os parâmetros das condições que foram inseridos no SGPA consideram o ACN/PCN de modo adequado e os demais parâmetros insatisfatórios. Desse modo, têm-se os dados seguintes e o exposto na Figura 67:

- Estrutura: ACN = 60 e PCN = 66 (F/A/X/T);
- Irregularidade longitudinal: IRI = 4,0 (mm/m);
- Índice de Condição do Pavimento: PCI = 45;
- Profundidade média da macrotextura: P = 0,50 (mm);
- Coefficiente de atrito: $\mu = 0,35$ (para *Mu-Meter* e velocidade de 65km/h).

Figura 67 – Possíveis soluções para ACN/PCN adequado no SGPA.

The screenshot displays the SGPA software interface. On the left is a navigation menu with options: Dashboard, Aeroportos, Avaliações (selected), Estratégias, and Histórico. The main area is divided into two sections: 'Condições Informadas' and 'Possíveis soluções'.

Condições Informadas:

- Aeroporto: Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
- Pista: RWY 13/31
- ACN: 60.0
- PCN: 66.0
- IRI: 4.0
- PCI: 45.0
- P: 0.5
- Equipamento de medição: GripTester
- Velocidade de medição: 65km/h
- μ : 0.35

Possíveis soluções:

Comprimento: 100 | Largura: 10 | Profundidade: 0.05

Solução 1:

- M4: Retexturização do revestimento R\$ 28230.00
- R6: Reciclagem do pavimento R\$ 3295.50
- R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) R\$ 10682.00
- Custo total: R\$42207.50

Solução 2:

- M1: Grooving R\$ 40060.00
- R6: Reciclagem do pavimento R\$ 3295.50
- R9: Revestimento asfáltico estrutural convencional: Concreto Asfáltico (CA) / Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) R\$ 10682.00
- Custo total: R\$54037.50

Solução 3:

- R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreas de Asfalto (SMA) R\$ 37568.00
- Custo total: R\$37568.00

Neste Caso X, adotaram-se as mesmas medidas anteriormente mencionadas. Com isso, o SGPA indica três possíveis soluções (a saber, estratégias R6 + R9 + M4 ou R6 + R9 + M1 ou R10) com três custos distintos. Optando-se pela solução de mais baixo custo total (Solução 3 – R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreas de Asfalto (SMA), de R\$ 37.568,00, tem-se o exposto na Figura 68.

Figura 68 – Resultado da avaliação para ACN/PCN adequado no SGPA.

The screenshot displays the 'Avaliações realizadas' section in the SGPA system. The main content area shows the following details:

- Aeroporto:** Aeroporto Internacional Pinto Martins / Fortaleza-CE
- Pista:** RWY 13/31
- Levantamento de condições:**
 - ACN: 60.0 PCN: 66.0 IRI: 4.0 PCI 45.0 P: 0.5
 - Equipamento de medição: GripTester
 - Velocidade de medição: 65km/h
 - μ : 0.35
- Solução adotada:**
 - R10: Revestimentos asfálticos estruturais especiais: Camada Porosa de Atrito (CPA) ou Matriz Pétreo de Asfalto (SMA) R\$: 37568.0
 - R\$: 37568.0

5.3 Considerações gerais sobre os cenários simulados no SGPA

Após simulados os dez diferentes casos/cenários para a RWY 13/31 do Aeroporto Internacional Pinto Martins – Fortaleza/CE, ao longo dos subitens anteriores, encontram-se armazenadas no banco de dados do SGPA todas as avaliações realizadas no dia 31/12/2015, conforme exposto na Figura 69.

Figura 69 – Histórico das avaliações armazenadas no banco de dados do SGPA.

The screenshot displays the 'Histórico' section in the SGPA system. The main content area shows the following details:

- Buscar avaliações:** Search bar with filters for 'Aeroporto' (Escolha um aeroporto) and 'Pista' (Escolha uma pista).
- Data inicial:** 31/12/2015
- Data final:** 31/12/2015
- Enviar:** Button to execute the search.
- Resultados:** Table listing 10 evaluations:

Resultado
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015
Avaliação da pista RWY 13/31 realizada em 31/12/2015

As informações detalhadas sobre as avaliações realizadas e demais dados individuais podem ser acessados com a seleção daquela avaliação de interesse. Quando não há indicação do período de tempo (data inicial e final), o SGPA retorna com todas as avaliações armazenadas no seu banco de dados para o aeroporto e para a pista selecionados. Com isso,

cumpra-se um dos princípios básicos de funcionamento dos Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP): a alimentação e retroalimentação das diversas atividades componentes com as informações disponíveis no seu banco de dados.

Além da análise dos dados técnicos dos levantamentos de campo, com relação aos casos simulados no SGPA proposto nesta Tese, e a criação do banco de dados, mais especificamente sobre o ponto de vista do custo total das estratégias de manutenção e reabilitação selecionados, tem-se o resumo apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Resumo dos casos analisados e custos simulados no SGPA.

Casos	Descrição					Custo total (R\$)
I	Todos os parâmetros adequados					0,00
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
II	Todos os parâmetros insatisfatórios					82.267,50
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	40.355,00
III	ACN/PCN insatisfatório, demais parâmetros adequados					25.548,50
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
IV	PCI degradado, demais parâmetros adequados;					193,00
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
V	PCI insatisfatório, demais parâmetros adequados					2.683,00
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
VI	IRI insatisfatório, demais parâmetros adequados					2.490,00
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
VII	P insatisfatório, demais parâmetros adequados					20.490,00
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
VIII	μ degradado demais parâmetros adequados					20.490,00
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	
IX	μ insatisfatório, demais parâmetros adequados					28.230,00
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	20.490,00
X	ACN/PCN adequado, demais parâmetros insatisfatórios					54.037,50
	ACN/PCN	PCI	IRI	P	μ	42.207,50 37.568,00

O destaque em negrito na coluna “Custo total (R\$)” da Tabela 27 representam a solução de menor custo total dentre as soluções propostas pelo SGPA, e, portanto, a proposta escolhida na análise desta Tese.

Percebe-se pelos dados da Tabela 27 que os maiores custos ocorrem, como já era previsto, quando todos os parâmetros das condições estrutural, funcional e de aderência da pista são considerados insatisfatórios (Caso II). A diferença, para este Caso II, entre o custo de maior e o de menor valor é de cerca de 104%. Mesmo para a seleção da estratégia de menor custo (R\$ 40.355,00), esta é maior em, aproximadamente, 58% quando se considera o outro caso de maior custo (Caso III), que ocorre quando apenas a condição estrutural ACN/PCN está insatisfatório com os demais parâmetros adequados.

Os menores custos (ou custos inexistentes) são registrados na simulação do Caso I referente a todos os parâmetros das condições adequados. Trata-se, como descrito anteriormente, de Inspeções de Acompanhamento, sem custos diretos ao Operador de Aeródromo para sua execução, já que não há contratação de empresa ou mão-de-obra especializada para realização dessa estratégia. O outro menor custo total refere-se ao Caso IV: PCI degradado, demais parâmetros adequados, pois se trata de um serviço relativamente simples (Inspeção de acompanhamento + Selagem de trincas) e de baixo custo unitário para manter as condições funcionais adequadas.

Outra particularidade verificada nos casos simulados anteriormente diz respeito aos valores de custo total iguais para os Casos VII, VIII e IX. Estes casos referem-se às condições de aderência, relativas aos parâmetros Profundidade Média de Macrotextura e ao Coeficiente de Atrito, em condições insatisfatórias ou degradadas e representam os mesmos custos de manutenção de R\$ 20.490,00. Especificamente no Caso IX: μ insatisfatório, demais parâmetros adequados, ainda é proposta a estratégia M4: Retexturização do revestimento ao custo total de R\$ 28.230,00.

A distinção entre os níveis ‘degradado’ e ‘insatisfatório’ é bastante sutil quando se trata das condições de aderência, e não representam amplas diferença técnicas entre a execução dos serviços de manutenção: M3: Remoção do contaminante e M4: Retexturização do revestimento, sendo a primeira obrigatória aos Operadores de Aeródromos, em virtude da regulação brasileira atual e a segunda surge como uma proposta considerada moderna, adequada e duradoura, na visão técnica-econômica dos estudos aqui descritos. No que diz respeito aos custos dessas estratégias de manutenção mencionadas (M3 e M4), a diferença entre os custos totais para realização dos serviços é de cerca de 38%.

Apesar dos cenários analisados, que contempla a pista de modo integral, pode-se considerar que a segmentação da pista de pouso e decolagem em seções homogêneas, facilita a análise a tomada de decisão, tanto em nível de rede, como em nível de projeto.

Espera-se com a implantação de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA) para uma rede de aeroportos brasileiros, como o proposto nesta Tese, atenda aos objetivos de garantia da segurança das operações de pousos e decolagens tanto dos Operadores de Aeródromos quanto da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e demais envolvidos do Sistema de Aviação Civil brasileiro.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

São propostas deste capítulo a descrição das principais conclusões da Tese a partir da análise dos dados, sobretudo do desenvolvimento e da implementação do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários, e demais informações relevantes apresentadas no transcorrer desta pesquisa, além de recomendações para estudos futuros.

6.1 Considerações gerais

Um dos principais objetivos dos operadores de aeródromos é garantir a segurança das operações de pousos e decolagens. Independentemente da complexidade da infraestrutura aeroportuária, o desenvolvimento da segurança operacional pode ser obtido por meio do acompanhamento e do controle das condições físicas de suas pistas.

De acordo com o que foi descrito ao longo desta Tese, as condições físicas das pistas de pousos e decolagens podem ser representadas pela avaliação de seus parâmetros estruturais – Método ACN/PCN (*Aircraft Condition Number/Pavement Condition Number*), funcionais – Irregularidade Longitudinal (*International Roughness Index – IRI*) e Índice de Condição do Pavimento (*Pavement Condition Index – PCI*) e de aderência – Profundidade Média da Macrotextura e Coeficiente de Atrito.

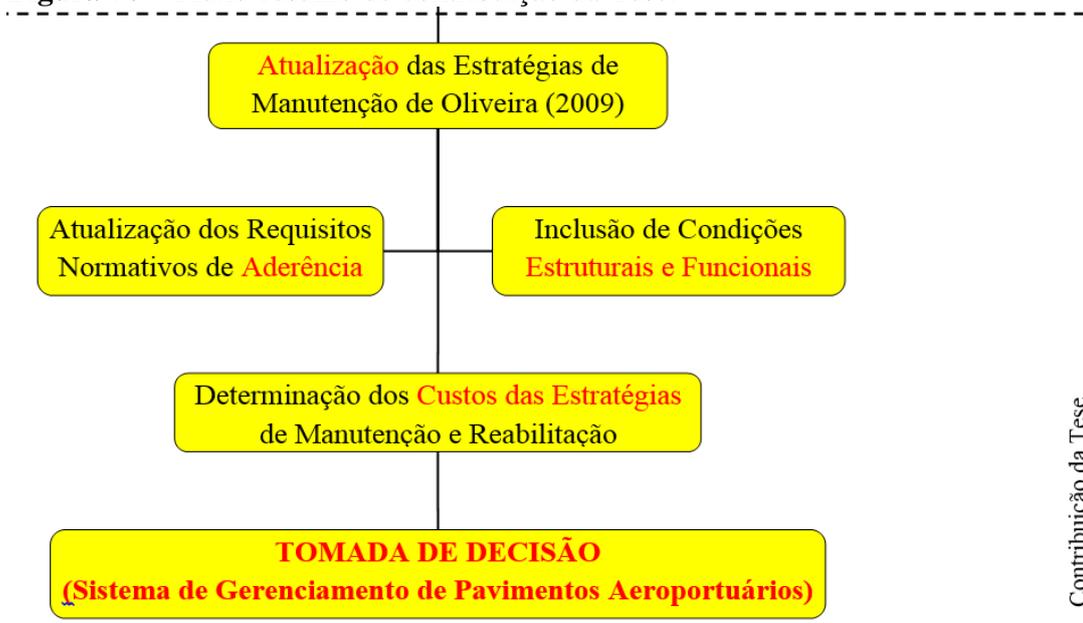
A garantia da segurança operacional aeroportuária é uma tarefa imprescindível, compulsória aos operadores de aeródromos e de difícil aplicação, por envolver diversos parâmetros técnicos, levantamentos *in situ*, diferentes metodologias de avaliação e custos associados. Além disso, existem muitas possibilidades de intervenção para melhoria das condições dos pavimentos, sendo as consideradas mais relevantes e atuais apresentadas nesta Tese através das estratégias de manutenção e reabilitação.

Em virtude disso, procurou-se desenvolver e implementar para pistas de pousos e decolagens especificamente, um modelo de gestão de pavimentos aeroportuários como suporte técnico-econômico apropriado à tomada de decisão por parte dos operadores de aeródromos. Esse modelo, denominado de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), foi simulado para diversos cenários da pista de pouso e decolagem (RWY 13/31) do Aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado em Fortaleza, Ceará, bem como pelas indicações dos custos unitários das estratégias de manutenção e reabilitação, como afirmado anteriormente, com data-base em março de 2015 e local de referência para Região Nordeste, Estado do Ceará.

6.2 Contribuições da abordagem proposta

Pode-se assegurar que o SGPA foi elaborado visando o apoio à tomada de decisão e fundamentado (i) no estado da arte e da prática da Gerência de Pavimentos Aeroportuários, tanto no contexto nacional quanto no internacional, (ii) na atualização das estratégias de manutenção de Oliveira (2009), (iii) no atendimento dos requisitos normativos (atualizados) de aderência, (iv) na inclusão das condições estruturais e das condições funcionais, estas regulamentadas (vigentes e atualizadas) pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e (v) nos custos das estratégias de manutenção e reabilitação de pavimentos aeroportuários, confirmando a contribuição da Tese de acordo com o que se apresenta resumidamente no fluxograma da Figura 70.

Figura 70 – Fluxo-resumo de contribuição da Tese.



As estratégias de manutenção e reabilitação, como descrito nesta Tese, foram concebidas a partir da atualização daquelas estabelecidas por Oliveira (2009) e procurou adotar técnicas que tenham aplicações práticas para a infraestrutura aeroportuária nacional e internacional, já que os aeroportos não podem ser concebidos como elementos isolados do cenário socioeconômico atual e futuro.

Com isso, o SGPA estabeleceu subsídios principalmente para a tomada de decisão dos operadores de aeródromos e para as ações de fiscalização e controle da autoridade aeronáutica (no caso, a ANAC), tanto para um único aeroporto, trabalhando em nível de

projeto, e, principalmente, quanto para um conjunto de aeroportos, funcionando como em nível de rede.

Além disso, outros envolvidos, tais como a Secretaria de Aviação Civil (SAC), e empresas aéreas, podem fazer uso do SGPA, tornando-o, portanto, uma ferramenta global, consistente e racional para a alocação dos recursos materiais, humanos e financeiros necessários ao funcionamento seguro das operações de pousos e decolagens.

A Tese procurou, ainda, preencher algumas lacunas existentes na recente legislação brasileira sobre manutenção de áreas pavimentadas em aeroportos. Isso foi alcançado a partir da adoção, por exemplo, do *Pavement Condition Index* – PCI como parâmetro de levantamento de defeitos nas pistas de pousos e decolagens, já que não existe definição normativa explícita por parte da autoridade aeronáutica, estando o operador do aeroporto responsável pelo monitoramento dessas áreas pavimentadas por inspeção visual.

Ainda nesse sentido, houve definição por parte da Tese, das frequências mínimas de levantamento das condições estruturais e funcionais (neste caso, especificamente para o PCI, já que existe indicação na legislação das frequências para o *International Roughness Index* – IRI), em função da quantidade de pousos diários.

Assim, espera-se, também, contribuir junto aos operadores de aeródromos para a melhoria dos processos de planejamento para a programação do cumprimento obrigatório das manutenções necessárias aos complexos de pistas, bem como à autoridade aeronáutica no acompanhamento dessas frequências de levantamento das condições.

O foco na gestão racional dos recursos financeiros foi proposto por meio do estabelecimento dos custos unitários das estratégias de manutenção e reabilitação. Esses custos melhor orientam o tomador de decisão na análise e na escolha da(s) solução(ões) mais confiável(is) do ponto de vista econômico e que atendam às restrições orçamentárias, porventura, existentes.

Todavia, vale ressaltar que apesar dos custos das estratégias de manutenção e reabilitação terem sido estabelecidos para condições locais (Estado do Ceará) e requisitos do Sistema de Custos Rodoviários – SICRO, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o SGPA permite as devidas alterações dos valores unitários para adequação à realidade local de operação de outro aeroporto onde o SGPA possa ser implantado.

Além disso, é possível, a partir do conhecimento da previsão de desempenho dos pavimentos, e como medida de garantia da segurança dos pousos e decolagens, realizar a indicação no SGPA das medidas das áreas que sofrerão intervenção e os custos associados às

estratégias selecionados para aplicação dessas áreas. Uma previsão de orçamento plurianual, por exemplo, pode ser elaborada com base nessas informações.

Por fim, outro ponto que merece destaque quanto à implementação do SGPA diz respeito à criação do banco de dados. Nessa ferramenta do sistema, como demonstrado nos cenários simulados da Tese, ficam armazenados os históricos de dados e informações que foram levantados por ocasião das avaliações de campo e inseridos no SGPA para uma melhor orientação quanto à tomada de decisão de qual estratégia de manutenção e reabilitação é a mais benéfica técnica e economicamente aos pavimentos.

Este banco de dados buscou contemplar os dois níveis componentes dos Sistemas de Gerência de Pavimentos – SGP, o de rede e o de projeto. Isso porque possibilita consultas diversas e elementos para o (i) planejamento das atividades futuras, (ii) base de pesquisas, (iii) programação e alocação dos recursos materiais e financeiros, (iv) definição de políticas, padrões e especificações de serviços, dentre outras. Com isso, garante-se uma adequada segurança operacional do transporte aéreo.

Desse modo, confirma-se que o banco de dados é uma atividade essencial e necessária para o bom funcionamento e desempenho do SGPA proposto, pois é nele, e através dele, que estão armazenadas todas as características das demais atividades.

6.3 Limitações do estudo

Apesar de esta Tese apresentar oportuna e razoável contribuição à comunidade técnico-científica nacional, à indústria da aviação civil e à sociedade em geral, deve-se destacar que existem algumas limitações a serem explicitadas

Assim, objetivando uma melhor aplicação dos estudos até então descritos, é importante destacar que o SGPA desenvolvido poderia:

- a) incorporar imagens obtidas nos registros fotográficos dos levantamentos de campo, de modo a se ter uma melhor noção da evolução das condições físicas dos sistemas de pistas;
- b) gerar relatórios das avaliações realizadas em formato não editável (em extensão .pdf, por exemplo), criando mais uma opção de registro e arquivo dos dados e informações gerados;
- c) permitir a inserção de novas estratégias de manutenção e reabilitação, de acordo com as especificidades de cada aeroporto;

- d) prever a vida de serviço remanescente para que, em determinado tempo, pudesse formular um programa de manutenção e reabilitação com as respectivas estimativas dos custos;
- e) criar alertas ao operador do aeródromo quanto ao cumprimento das frequências de levantamento das condições como forma de evitar penalidades por parte da autoridade aeronáutica, e a este, de modo a criar uma rotina de acompanhamento e fiscalização;
- f) simplificar a árvore de decisão (combinações das classificações das condições) de modo a permitir ao operador aeroportuário utilizar o SGPA de maneira mais detalhada e com isso facilitar a tomada de decisão em nível de projeto. Tal condição, gera um melhor planejamento a médio e longo prazos.

Diante das restrições apresentadas, espera-se estimular o desenvolvimento de novas pesquisas e, por consequência, oportunidades de melhorias do estudo realizado e inovações para a infraestrutura aeroportuária, notadamente seu complexo de pátios e pistas.

6.4 Proposições para estudos futuros

As recomendações aqui apresentadas têm o objetivo de continuidade e promoção de estudos, pesquisas e análises no campo aeroportuário, além de servir como subsídio às ações dos operadores de aeródromos, da ANAC e dos demais envolvidos no Sistema de Aviação Civil brasileiro:

- a) verificar a viabilidade técnica para se estender os parâmetros das condições físicas e de avaliação às áreas de manobras e de movimento, tais como as *taxiways* e os pátios de aeronaves;
- b) incorporar ferramentas do Micro PAVER ao SGPA desenvolvido, sobretudo quanto à questão visual da situação das pistas de pousos e decolagens;
- c) estabelecer o detalhamento dos custos unitários dos serviços de manutenção e reabilitação especificamente para obras e serviços no contexto da infraestrutura aeroportuária, pois o setor, geralmente utiliza o SICRO, e os aeroportos possuem especificidades (operações, horários, disponibilidades de áreas, instalação de canteiros, etc.) completamente distintos das rodovias;
- d) inserir os relatórios de levantamento das avaliações realizadas em campo pelos operadores de aeródromos no banco de dados do SGPA;

- e) aperfeiçoar as metodologias de avaliação das condições funcionais: o levantamento de defeitos por meio do PCI, sobretudo quando o aeroporto possui uma única pista de pouso e decolagem (realidade brasileira), e a verificação da irregularidade longitudinal através do BBI (*Boeing Bump Index*), ou do RCI (*Riding Comfort Index*);
- f) estudar a influência das operações de pousos e decolagens na deterioração das condições físicas das pistas, e com isso gerar modelos de previsão de desempenho;
- g) propor métodos mais adequados e específicos de determinação da resposta das aeronaves ao perfil longitudinal;
- h) definir estratégias para usar o PCI a nível de projeto, sendo destinado especificamente para um aeroporto, e, assim procedendo, ajustar a árvore de decisão para que seja específica de um aeródromo.
- i) estudar a viabilidade de obtenção da macrotextura por meio de equipamento a laser, a aplicação de modelos mecânicos para análise da capacidade estrutural dos pavimentos, bem como a utilização do *International Friction Index* (IFI) como medida de aderência (coeficiente de atrito) para pistas de pousos e decolagens em aeroportos brasileiros.

REFERÊNCIAS

AASHTO. **Guidelines on Pavement Management**. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, DC, 1985.

AIRLINERS. **Configuração do trem de pouso de Airbus A380**. 2014. Disponível em <<http://www.airliners.net/photo/0862877/L/>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

ALMEIDA, L. C. **Avaliação da irregularidade longitudinal das pistas de pouso e decolagem de aeroportos brasileiros**. 2015. 96f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2015.

ALMEIDA, R. V. O. **Concepção de Modelos de Avaliação de Condições de Rolamento e Indicação de Priorização de Vias como Etapas de um Sistema de Gerência de Vias não Pavimentadas**. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

ANAC. **Resolução Nº 88**, de 11 de maio de 2009. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2009.

ANAC. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº 153**, de 30 de dezembro de 2012. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2012a.

ANAC. **Resolução Nº 236**, de 05 de junho de 2012. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2012b.

ANAC. **ANAC completa 10 Anos**. 2016. Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em <<http://www.anac.gov.br/noticias/anac-completa-10-anos>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

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

ASTM. **Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys**. D 5340-12. American Society for Testing Materials. West Conshohocken, PA, 2012.

BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras. Abeda, 2007.

BETUNEL. **Revestimentos Asfálticos – SMA**. Florianópolis: Betunel Tecnologia em Asfaltos, 2014. 61 slides, color. Apresentação no 6º Encontro Técnico. Departamento Estadual de Rodovias do Paraná.

BROSSEAUD, Y. Propriedades das superfícies dos pavimentos em relação à segurança e ao conforto dos usuários. In: ENCONTRO DO ASFALTO, 18., 2006, Rio de Janeiro. **Anais do 18º Encontro do Asfalto**. Rio de Janeiro: IBP, 2006, p. 12-26.

BROTEN, M.; SOMBRE R. The Airfield Pavement Condition Index (PCI) Evaluation Procedure: Advantages, Common Misapplications and Potential Pitfalls. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 5., 2001.

Proceedings of 5th International Conference on Managing Pavements. Seattle, WA: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2001. p. 24-32.

BROTEN, M.; COMER, C.; MUNTASIR. State Airport Pavement Management Practices and the Impact on Pavement Condition. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 6., 2004. **Proceedings of 6th International Conference on Managing Pavements.** Queensland, Australia: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2004. p. 33-42.

BROTEN, M.; MCNEELY, S. Virginia Aviation Pavement Management System: a historical perspective. In: TRANSPORTATION RESEARCH BOARD ANNUAL MEETING, 1995. N. 1508, Washington, DC: **Transportation Research Record**, 1995. p. 84 – 91.

BROTEN, M.; WADE, M. How to Sustain a Pavement Management System at a Commercial-Service Airport. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 6., 2004. **Proceedings of 6th International Conference on Managing Pavements.** Queensland: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2004. p. 55-62.

BROTEN, M.; ZIMMERMAN, K. (1998) Basics of Airport Pavement Management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 4., 1998. **Proceedings of 4th International Conference on Managing Pavements.** Durbin, South Africa: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems. 1998. p. 12-25.

CAA. **The Assessment of Runway Surface Friction for Maintenance Purposes.** CAP 683. Civil Aviation Authority of United Kindgom, 2004.

CAA. **Aerodrome maintenance: Runway surface friction characteristics and friction testing.** Advisory Circular – AC139-13. Civil Aviation Authority of New Zeland, 2008.

CAMPOS, V. B. G. **Planejamento de Transportes: Conceitos e Modelos.** Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 188 p.

CAREY, W. N.; IRICK, P. E. **The Pavement Serviceability-Performance Concept.** HRB Bulletin 250, 1960.

CARDOSO, S. H. **Um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários para São Paulo.** Projeto de Convênio INFRAERO – ITA. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. Centro Aeroespacial. São José dos Campos, São Paulo, 1988a.

CARDOSO, S. H. Sugestão de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários para aeroportos brasileiros. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 23., 1988, Florianópolis. **Anais da 23ª. Reunião Anual de Pavimentação.** Florianópolis: ABPv, 1988b, p. 56-67.

CATION, K. A.; SHAHIN, M. Y. The Development of a Preventive Maintenance Algorithm and its Application to The Micro Paver System. In: NORTH AMERICAN PAVEMENT MANAGEMENT CONFERENCE, 2., 1987. **Proceedings of 2nd North American Pavement Management Conference.** Toronto: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 1987. p. 12-22.

CENIPA. **Panorama Estatístico da Aviação Civil Brasileira em 2014**. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Comando da Aeronáutica. Ministério da Defesa. Brasília, DF, 2015.

CNT. **Boletim Estatístico – CNT 2015**. 2015. Confederação Nacional dos Transportes. Disponível em <<http://www.cnt.org.br/portal/webcnt/default.aspx>>. Acesso em: 01 mar. 2015.

CORDOVIL, R. M. **Um Programa de Gerência de Pavimentos para o Comando da Aeronáutica – Estudo de Caso: Bases Aéreas da Região Sul**. 2010. 127f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

COVALT, M.; JOHNSON, E. Strategies for Allocating Limited Airport Pavement Funds. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS ASSETS, 7., 2008. **Proceedings of 7th International Conference on Managing Pavements Assets**. Calgary: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems. 2008. p. 11-25

CRONEY, D. **The Design and Performance of Road Pavement**. Her Majestys Stationery Office. London, 1977.

DAC. **Requisitos de Resistência à Derrapagem para Pistas de Pouso e Decolagem**. IAC 4302. Instrução de Aviação Civil. Departamento de Aviação Civil. Comando da Aeronáutica. Brasília, DF, 2001.

DECEA. **Aeronautical Information Publication – AIP Brasil**. 2013. 2nd Edition. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Comando da Aeronáutica. Disponível em <[http://www.aisweb.aer.mil.br/arquivos/publicacoes/AIP-BRASIL\(ENG\)/20-DE3DF181-F6B7-459D-A989427D6578D6E9.pdf](http://www.aisweb.aer.mil.br/arquivos/publicacoes/AIP-BRASIL(ENG)/20-DE3DF181-F6B7-459D-A989427D6578D6E9.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2014.

DNER. **Medição da irregularidade de superfície de pavimentos com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter**. Norma DNER-PRO 182/94. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ, 1994.

DNIT. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Terminologia**. Norma DNIT 005/2003 - TER. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

DNIT. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Publicação IPR-745. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ. 2011.

DNIT. **Sistemas de Custos Rodoviários**. Sicro2 – Ceará. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

DOUGLAS EQUIPMENT. **Mu-Meter**. 2008. Douglas Equipment. Disponível em <<http://www.douglas-equipment.com>>. Acesso em: 21 jan. 2008.

DURÁN, J. B. C. e FERNANDES JÚNIOR, J. L. Avaliação do Método PCI e do Programa PAVEAIR para a Gerência de Pavimentos Aeroportuários. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 44., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais da 44ª. Reunião Anual de Pavimentação**. Foz do Iguaçu: ABPv, 2015, p. 57-74.

DYNATEST. **ACN/PCN PROGRAM for Windows™**. 2014a. Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em <<http://www.airport-int.com/article/acnpcn-program-windows.html>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

DYNATEST. **Perfilômetro Laser - RSP**. 2014b. Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em <<http://dynatest.com.br/produto.asp?produtoAtivo=15>>. Acesso em: 03 abr. 2014.

DYNATEST. **Grip Tester**. 2014c. Dynatest Engenharia Ltda. Disponível em <<http://dynatest.com.br/Produto.asp?ProdutoAtivo=22>>. Acesso em: 03 abr. 2014.

ESPESCHIT, A. M. L. **Um sistema preliminar de gerência de pavimentos, a nível de projeto, para o Aeroporto Internacional de São Paulo – Guarulhos, baseado principalmente no PCI**. 1990. 77f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, Centro Aeroespacial. São José dos Campos, São Paulo, 1990.

FAA. **Measurement, construction and maintenance of skid-resistant airport pavement surfaces**. Advisory Circular – AC 150/5320-12C. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 1997.

FAA. **Airport Pavement Management Program**. Advisory Circular – AC 150/5335-5A. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2006.

FAA. **Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements**. Advisory Circular – AC 150/5380-6B. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2007.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory Circular AC 150/5320-6C. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Washington, DC. 1978.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory Circular – AC 150/5320-6E. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2009a

FAA. **Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness**. Advisory Circular – AC 150/5380-9. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2009b.

FAA. **Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN**. Advisory Circular – 150/5335-5B. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2011.

FAARFIELD. Version 1.305. [S.I]: **Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design**. 2009. Disponível em: http://www.airporttech.tc.faa.gov/naptf/download/FAARField/FAARFIELD%202010_09_30%20v%201_305.zip>. Acessa em: 20 dez 2015.

FEIGHAN, K.; REYNOLDS-FEIGHAN, A. An Application of Damage Cost Allocation for Airport Services in Ireland. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING

PAVEMENTS, 6., 2004. **Proceedings of 6th International Conference on Managing Pavements**. Queensland: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2004. p. 77-85.

FERNANDES, C.I.C.S.H. **Sistema de gestão de pavimentos aeroportuários: caracterização e aplicação**. 2010. 189f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2010.

FERNANDES JÚNIOR, J. L., ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

FOLHA DE SÃO PAULO. **Ineficiência diminui a capacidade de aeroporto**. 2010. Edição de 15/10/2010. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/814952>>. Acesso em 14 out. 2012.

FONSECA, O. A. **Manutenção de Pavimentos de Aeroportos**. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Divisão de Estudos e Projetos de Infra-Estrutura. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF, 1990.

FONSECA, O. A. A Network Level Approach for Simultaneously Managing Pavements of a Set of Airports. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 5., 2001. **Proceedings of 5th International Conference on Managing Pavements**. Seattle, WA: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2001. p. 124-137.

FONSECA, O. A. Airport Pavement Management Systems in Developing Countries Implementation Issues. In: **Seminário sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos**. Lima, 2003.

GILES, C. G. **The skidding resistance of roads and the requirements of modern traffic**. Proc. Inst. Civ. Engrs., 1957, 6, 216-42. Crushed Stone J., 1957, 32 (2), 8-10, 15, 1957.

GILLESPIE, T. D., SAYERS, M. W.; SEGEL, L. **Calibration and Correlation of Reponse-Type Road Roughness Measuring Systems**. National Cooperative Highway Research Program Report, Washington, n. 228, 1980.

GOMES, A. F. S. S. **Tecnologia Aplicada à Avaliação das Estruturas dos Pavimentos Aeroportuários**. 2008. Monografia (Especialização) - Especialização em Gestão da Aviação Civil. Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes. Universidade de Brasília. Publicação: E-TA-006A/2008, Brasília, DF, 2008.

GOMES, I. C. G. M. **Medicação de Atrito e Remoção de Borracha das Pistas do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos, Brasil**. São Paulo: VI Seminário Asociación Latino Americana y Caribeña de Pavimentos Aeroportuarios, 2009. 51 slides, color.

GOMES, L. F. A. M. **Tomadas de Decisão são Facilitadas com Modelos Matemáticos**. 2001. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/entrevistas/modelagem/autran.htm>>. Acesso em: 18 out. 2014.

GOUVERNEMENT DU CANADA. **Aérodromes - Normes et pratiques recommandées**. 2014. Government of Canada. Disponível em <<http://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/publications.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

GREEN, W. H.; SCHERLING, J. D. Florida Airport System Pavement Management Program. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 3., 1994. **Proceedings of 3rd International Conference on Managing Pavements**. San Antonio, TX: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 1994. p. 111-132.

HAAS, R. Reinveting the (Pavement Management) Wheel. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 5., 2001. **Distinguished Lecture**. Seattle, Washington, 2001.

HAAS, R.; HUDSON, W. R. **Pavement Management System**. New York: McGraw-Hill, 1978.

HAAS, R., HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Florida: Krieger Publishing Company, 1994.

HAAS, R.; KAZMIEROWSKI, T. Implementation Experience of a New Pavement Design and Management Guide. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 4., 1998. **Proceedings of 4th International Conference on Managing Pavements**. Durbin, South Africa: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 1998. p. 132-141.

HEDE, J. C. H.; ANDERSEN, J. Airpave Management – An Innovative Integrated Pavement Management System for Airport Pavements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 5., 2001. **Proceedings of 5th International Conference on Managing Pavements**. Seattle, WA: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2001. p. 55-69.

HEINZELMANN, L. S.; FIGUEIREDO, A. C. Sistema de Gerenciamento de Pavimentos da Aeronáutica. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 40., 2010. Rio de Janeiro. **Anais da 40^a. Reunião Anual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: ABPv, 2010, p. 65-77.

HENRIQUE, Y. F. **Método de Avaliação de Pavimentos Aeroportuários**. Aplicação a um Aeródromo Militar. 2013. 123f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2013.

HOLT, F. B., ZANIEWSKI, J. P.; RICHARDS, M. Arizona Airport Pavement Management System. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 3., 1994. **Proceedings of 3rd International Conference on Managing Pavements**. San Antonio, TX: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 1994. p. 176-189.

HORONJEFF, R. e MCKELVEY, F. X. **Planning and design of airport**. Washington: McGraw-Hill, 2010.

HOSSAIN, M.; UDDIN, S. Evaluation of General Aviation Airport Condition in Kansas – Results and Implications. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 5., 2001. **Proceedings of 5th International Conference on Managing**

Pavements. Seattle, WA: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2001. p. 224-235.

HUANG, Y. H. **Pavement Analysis and Design.** New Jersey: Prentice Hall, 1993.

HUDSON, W. R., HAAS, R.; UDDIN, W. **Infrastructure Management: integrating desing, construction, maintenance, rehabilitation and renovation.** Washington: McGraw-Hill, 1997.

ICAO. **Manual de proyecto de aeródromos. Parte 3. Pavimentos.** Segunda edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru, 1983.

ICAO. **Manual-Guía de Administración del Mantenimiento de la Infraestructura Aeropotuaria.** Edición preliminar. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru, 1997.

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

ICAO. **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodrome Design and Operations. Volume I.** 4th Edition. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada, 2004.

ICAO. **Proposal for the amendment of Annex 14, Volume I, Annex 5 and PANS-ATM (Doc 4444).** AN 4/1.1.52-11/41. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canada, 2011.

ICAO. **Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting.** Cir 329. AN/191. Internacional Civil Aviation Organization. Montreal, Canada, 2012.

ICAO. **Continuing Traffic Growth and Record Airline Profits Highlight 2015 Air Transport Results.** 2016. International Civil Aviation Organization. Disponível em <<http://www.icao.int/Newsroom/Pages/Continuing-Traffic-Growth-and-Record-Airline-Profits-Highlight-2015-Air-Transport-Results.aspx>>. Acesso em: 27 mar. 2016.

INFRAERO. **Curso de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários.** Apostila do Curso. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Superintendência de Engenharia de Manutenção. Brasília, DF, 2005.

INFRAERO. **Licitações diversas. Serviços de manutenção de aeroportos brasileiros.** 2014. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Diretoria de Planejamento e Gestão Estratégica. Centros de Suporte Administrativo. Disponível em <http://licitacao.infraero.gov.br/portal_licitacao/details/licitacao/pesquisa_licitacao.jsp> Acesso em 01 jun. 2015.

ISTO É DINHEIRO. **Quem vai fazer os aeroportos decolar.** 2011. Revista Isto É Dinheiro. Edição 660, de 28/05/2011. Disponível em <<http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/24455>>. Acesso em: 14 out. 2012.

KAZDA, A.; CAVES, R. E. **Airport Design and Operation** (2nd Edition). New York: Publisher Elsevier Science, 2007.

LONDON, P. **Importance of Aircraft-Pavement Interaction**. São Paulo: VI Seminário Asociación Latino Americana y Caribeña de Pavimentos Aeroportuarios, 2009. 30 slides, color.

MACEDO, M. C. **Estudo para a base técnica de um Sistema de Gerência de Pavimentos para rede regionais de aeroporto**. 2005. 233f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica. Instituto Tecnológico da Aeronáutica. São José dos Campos, São Paulo, 2005.

MACEDO NETO, M. U. **Um Sistema de Gerência de Pavimentos para a INFRAERO**. Proposta Técnica. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Diretoria de Engenharia. Brasília, DF, 1992.

MACHADO, E. P.; GOMES, L. F. A. M.; CHAUVEL, M. A. Avaliação de Estratégias em Marketing de Serviços: Um Enfoque Multicritério RAM. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 4, n. 2, p.62-85, 2003. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195418006004>>. Acesso em: 19 nov. 2014.

MACIEL, W. R. N. **O Aeroporto e a Cidade: usos e significados do espaço urbano na Fortaleza turística**. Fortaleza: EdUece, 2010, 220p.

MALLIK, B. R.; EL-KORCHI, T. **Pavement Engineering: Principles and Practice**. New York: CRC Press., 2009, 511p.

MCKINSEY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil**. 2010. McKinsey & Company. Relatório consolidado. Disponível em <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empr esa/pesquisa/chamada3/relatorio_consolidado.pdf>. Acesso em: 06 set. 2014.

MIRANDA, L. M. **Contribuição a um Modelo de Análise Multicritério para Apoio à Decisão da Escolha do Corredor de Transporte para Escoamento da Produção de Granéis Agrícolas de Mato Grosso**. 2008. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MOTA, I. P. D. H. **Análise multicritério das condições físicas de pistas de pouso e decolagem**. 2014. 76f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2014.

MURAKAMI, M. **Decisão Estratégica em TI: Estudo de Caso**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração e Contabilidade, Departamento de Economia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

NASCIMENTO, L. P. A. S. **Aplicação do Método AHP com as Abordagens Ratings e BOCR: Projeto F-X2**. 2010. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2010.

NUNES JUNIOR, L. F. **Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios: Pesquisa-Ação sobre o Método AHP em Pequenas Empresas**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Contabilidade e Administração, Departamento de Economia, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2006.

OLIVER, M. G., SPEIR, R. H.; RADA, G. R. Implementation of Pavement Management Systems at International Airports. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 4., 1998. **Proceedings of 4th International Conference on Managing Pavements**. Durbin, South Africa: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 1998. p. 142-156.

OLIVEIRA, F. H. L. **Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito**: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. 2009. 202f. Dissertação (Mestrado). Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OLIVEIRA, F. H. L. **Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação**. 2014, 76f. Qualificação de Tese (Doutorado) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

OLIVEIRA, F.H.L; NOBRE JÚNIOR, E.F. Acúmulo e remoção de borracha em pavimentos asfálticos do Aeroporto Internacional de Fortaleza. In: Simpósio de Transporte Aéreo, 8., 2009. São Paulo. **Anais do VIII Simpósio de Transporte Aéreo**. São Paulo: SITRAER, 2009, p. 23-35.

PAULA, B. L.; CERRI, L. E. S. Aplicação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para Priorização de Obras de Intervenção em Áreas e Setores de Risco Geológico nos Municípios de Itapeverica da Serra e Suzano (SP). **Revista Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 2, p.247-257, 2012.

PATERSON, W, D. O. e ROBINSON, R. **Criteria for Evaluating Pavement Management System**. Pavement Management Implementation. ASTM STP 1121. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1992.

PETERSON, D. E. **Pavement Management Practices**. Transportation Research Board 135. National Research Council. Washington, DC, 1987.

SAATY, Thomas Lorie. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. **European Journal Of Operational Research**. North-holland, p. 9-26. 1990.

SAATY, Thomas Lorie. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal Of Services Sciences**. Genebra, p. 83-98. mar. 2008.

SABEY, B. E. **The road surface and safety of vehicles. Symposium on Vehicle and Road Design for Safety**, Cranfield, 3-4 July, 1968. London: Institution of Mechanical Engineers, 1968.

SAYERS, M. W., GILLESPIE, T. D.; PATERSON, W. D. O. **Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements**. World Bank Technical Paper Number 46. The International Bank for Reconstruction and Development. Washington, D.C., USA, 1986.

SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. **The Little Book of Profiling**. Basic Information about Measuring an Interpreting Road Profiles. The Regent of the University of Michigan. 1998, 98p.

SHAHIN, M. Y. **Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots**. 2nd Edition. New York: Chapman & Hall, 2005.

SHAHIN, M. Y.; SCHMIDT, J. Pavement Condition Analysis and Development of Initial M&R Prioritization for Local Agencies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 4., 1998. **Proceedings of 4th International Conference on Managing Pavements**. Durbin, South Africa: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 1998. p. 172-186.

SHEPSON, O. **Boeing and Airbus Tire Pressure Test Programs**. São Paulo: VI Seminário Asociación Latino Americana y Caribeña de Pavimentos Aeroportuarios de Pavimentos Aeroportuários. São Paulo, 2009. 35 slides, color.

SILVA, J. P. S. **Aderência pneu-pavimento em revestimentos asfálticos aeroportuários**. 2008. 134f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Publicação G.DM – 165/2008. Brasília, DF, 2008.

SOARES, U. P. **Procedimento para a Localização de Terminais Rodoviários Interurbanos, Interestaduais e Internacionais de Passageiros**. 2006. 343 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SOLMINIHAC, H. E., ROJAS, P., HIDALGO, P.; BUSTOS, M. Infrastructure Asset Valuation In Airport Management: An Application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 6., 2004. **Proceedings of 6th International Conference on Managing Pavements**. Queensland: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2004. p. 155-162.

SUCUPIRA, M. L. L. **Aplicação e Adaptação da Metodologia Paver para Pavimentos Urbanos do Campus do Pici na Cidade de Fortaleza**. 2006. 218f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.

SUN, L., KAN, S.; JI, Y. Evaluation and Rehabilitation Models of Airport Pavement Management System: a case study of Shanghai Pudong International Airport. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGING PAVEMENTS, 6., 2004. **Proceedings of 6th International Conference on Managing Pavements**. Queensland: TRB Committee AFD10 on Pavement Management Systems, 2004. p. 195-211.

TADEU, H. F. B. **Logística Aeroportuária: análises setoriais e o modelo de cidades-aeroportos**. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2010, 278p.

THOM, N. **Principles of Pavement Engineering**. London: Thomas Telford Publishing Ltd., 2010.

THUMA, R. G., FUSELIER, G. K.; YIP, P. K. Using PCI Data to Define Major Rehabilitation Projects at Washington Dulles International Airport. In: AIRFIELD AND HIGHWAYS PAVEMENTS. 2008. **Proceedings of the 2008 Airfield and Highways Pavements Conference**. Bellevue, Washington, 2008. p. 33-42

TRANSPORT CANADA. **Aerodrome Safety Circular**. ASC 2004-024. Appendix A – Guidelines Respecting the Measurement, Evaluation and Maintenance of Airfield Pavement Surface Friction. Government of Canada. 2004. Disponível em <<http://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/opssvs/nationalops-audinspmon-program-safetycirculars-2004024-862.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2014.

TRANSPORT CANADA. **Measuring And Evaluation of Runway Roughness**. Advisory Circular – AC 302-023. Canadian Aviation Regulations - CARs. Canada, 2015.

TRB. **Common Airport Pavement Maintenance Practices: A Synthesis of Airport Practice**. Airport Cooperative Research Program. ACPR Synthesis 22. Transportation Research Board. Washington, DC, 2011.

USACE. **Pavement Condition Surveys**. Procedures for US Army and US Air Force Airfield – TM 5-826-6. United State Army Corps of Engineers. Headquarters, Department of the Army. Washington, DC, 1989.

USACE. **Micro PAVER**. Version 5.2. Developed by US Army Corps of Engineers. Engineer Research and Development Center (ERDC). Construction Engineering Research Laboratory (CERL). Champaign, Illinois, 2004.

VEJA. **O insuportável peso de voar**. 2010. Revista Veja. Edição 2159, de 07/04/2010. Disponível em <<http://veja.abril.com.br/070410/sumario.shtml>>. Acesso em: 14 out. 2012.

WELLS, A. T.; YOUNG, S. B. **Airport Planning & Management**. 5th Edition. New York: McGraw-Hill, 2004.

WOODS, J. E. **A study of airport pavement-aircraft interaction using wallet analysis**. University of Texas at San Antonio, 2008.

YODER, E. J.; WITCZAK, M. W. **Principles of Pavement Design**. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975.

ANEXO 1 – TABELA DE ACN

ANEXO 1 – TABELA DE ACN

Aeronave	Carga Total (kg)		Pressão dos Pneus (MPa)	ACN Pavimentos Rígidos - k em MN/m ³								ACN Pavimentos Flexíveis - CBR							
	Peso Máximo Decolagem (PMD)	Operação Vazio (OV)		Alta 150		Média 80		Baixa 40		Ultra Baixa 20		Alta 15		Média 10		Baixa 06		Ultra Baixa 03	
				PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV
A300 B2 Airbus	137000	85910	1,2	35	18	42	21	50	25	58	29	39	20	43	22	53	24	68	34
A300 B2 Airbus	142000	85910	1,29	35	19	45	22	53	26	61	30	40	21	45	22	55	25	71	34
A300 B4 Airbus	150000	88180	1,39	41	20	49	22	57	26	65	31	43	21	49	22	59	25	76	35
A300 B4 Airbus	157000	88330	1,48	45	20	53	22	62	26	70	31	46	21	52	22	63	25	80	36
A300 B4 Airbus	165000	88505	1,29	46	17	55	20	64	25	73	29	49	20	56	21	68	25	84	36
A300-600 Airbus	165000	87100	1,29	46	17	55	19	64	24	73	28	49	19	56	21	68	24	84	35
A300-600R Airbus	170000	85033	1,35	49	17	58	19	68	23	78	28	52	19	58	20	71	23	89	34
A300-600R Airbus	171700	85033	1,35	50	17	59	19	69	23	79	28	52	19	59	20	72	23	90	34
A310-200 Airbus	132000	76616	1,23	33	15	39	18	46	21	54	24	36	18	40	19	48	20	64	27
A310-200 Airbus	138600	76747	1,3	35	16	42	18	51	21	58	25	39	18	43	19	52	20	68	28
A310-200 Airbus	142000	75961	1,33	37	15	44	17	52	20	60	23	40	17	44	18	54	20	70	27
A310-300 Airbus	150000	77037	1,42	42	13	49	14	58	17	66	20	44	15	49	15	59	16	76	24
A310-300 Airbus	157000	78900	1,49	45	14	54	15	63	18	71	22	47	15	53	15	64	16	81	25
A320-100 Airbus Dual	66000	37203	1,28	37	19	40	20	42	21	44	23	33	18	34	18	38	19	44	22
A320-100 Airbus Dual	68000	39700	1,34	39	20	41	22	43	23	45	24	35	19	36	19	40	20	46	23
A320-100 Airbus Dual Tandem	68000	40243	1,12	18	9	21	10	24	12	28	14	18	9	19	10	23	11	32	14
A320-200 Airbus Dual	73500	39748	1,45	44	20	46	22	48	23	50	25	38	19	40	19	44	20	50	24
A320-200 Airbus Dual Tandem	73500	40291	1,21	18	9	22	10	26	11	30	13	19	9	21	10	26	11	35	14
BAC 1-11 Series 400	39690	22498	0,93	25	13	26	13	28	14	29	15	22	11	24	12	27	13	29	15
BAC 1-11 Series 475	44679	23451	0,57	22	10	25	11	27	12	28	13	19	9	24	10	28	12	31	15
BAC 1-11 Series 500	47400	24757	1,08	32	15	34	16	35	16	36	17	29	13	30	13	33	15	35	17
Bae 146 Series 100	37308	23000	0,8	18	10	20	11	22	12	23	13	17	10	18	10	20	11	24	13
Bae 146 Series 100	37308	23000	0,52	16	9	18	10	19	11	21	12	13	8	16	9	19	11	23	13
Bae 146 Series 200	40600	23000	0,88	22	11	23	12	25	13	26	14	19	10	21	10	23	11	27	13
Bae 146 Series 200	40600	23000	0,61	19	10	21	11	23	12	24	12	16	8	20	10	22	11	27	13
B707-120B	117027	57833	1,17	28	12	33	12	39	15	46	17	31	13	34	14	41	15	54	20
B707-320B	148778	64764	1,24	38	13	46	14	54	17	62	20	42	15	47	15	57	17	72	22
B707-320C (Freighter)	152407	61463	1,24	40	13	48	14	57	16	66	19	44	14	49	15	60	17	76	21
B707-320C (Convertible)	152407	67269	1,24	40	14	48	15	57	18	66	21	44	16	49	17	60	19	76	24
B707-320/420	143335	64682	1,24	36	13	43	14	52	17	59	20	40	15	44	15	54	17	69	22
B720	104326	50258	1	25	10	30	11	37	13	42	16	29	11	31	12	39	14	51	18
B720 B	106594	52163	1	25	10	30	11	37	13	42	16	29	11	31	12	39	14	51	18
B727-100	77110	41322	1,14	46	22	48	23	51	25	53	26	41	20	43	20	49	22	54	26
B727-100C	73028	41322	1,09	43	22	45	23	48	25	50	26	39	20	40	21	46	22	51	26
B727-200 (Standard)	78471	44293	1,15	48	24	50	26	53	27	56	29	43	22	45	23	51	25	56	29
B727-200 (Advanced)	84005	44270	1,02	49	23	52	24	55	26	58	28	45	21	48	22	55	24	60	29
B727-200 (Advanced)	86636	44347	1,06	51	23	54	25	58	26	60	28	47	22	50	22	56	24	61	28
B727-200 (Advanced)	89675	44470	1,15	54	23	57	25	60	27	62	28	49	21	51	22	58	24	63	28
B727-200 (Advanced)	95254	45677	1,19	58	24	61	25	64	27	67	29	52	22	55	22	62	25	66	29

ANEXO 1 – TABELA DE ACN (continuação)

Aeronave	Carga Total (kg)		Pressão dos Pneus (MPa)	ACN Pavimentos Rígidos - k em MN/m³								ACN Pavimentos Flexíveis - CBR							
	Peso Máximo Decolagem (PMD)	Operação Vazio (OV)		Alta 150		Média 80		Baixa 40		Ultra Baixa 20		Alta 15		Média 10		Baixa 06		Ultra Baixa 03	
				PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV
B737-100	44361	26581	0,95	23	12	24	13	26	14	27	15	20	12	22	12	24	13	28	15
B737-200	45722	27170	0,97	24	13	25	14	27	15	29	16	22	12	23	12	26	14	30	16
B737-200	52616	27125	1,14	29	13	31	14	32	15	34	16	26	12	27	12	30	13	34	15
B737-200	52616	27125	0,66	24	11	26	12	28	13	30	14	21	10	25	11	29	13	34	15
B737-200/200C (Advanced)	53297	29257	1,16	30	15	32	16	34	17	35	18	27	14	28	14	31	15	36	17
B737-200/200C (Advanced)	56699	28985	1,23	33	15	34	16	36	17	38	18	29	14	30	14	34	15	38	17
B737-200 (Advanced)	58332	29620	1,25	34	15	36	16	38	17	39	18	30	14	31	14	35	15	39	17
B737-300	61462	32904	1,34	37	18	39	18	41	20	42	21	32	16	33	16	37	17	41	20
B737-300	61462	32904	1,14	35	17	37	18	39	19	41	20	31	15	33	16	37	17	41	20
B737-400	64864	33643	1,44	41	19	43	20	45	21	47	22	35	16	37	17	41	18	45	21
B737-500	60781	31312	1,34	37	17	38	17	40	19	42	19	32	15	33	15	37	16	41	19
B747-100	323410	162385	1,5	41	17	48	19	57	22	65	25	44	19	48	20	58	22	77	28
B747-100B	334749	173036	1,56	43	18	50	20	59	24	68	28	46	20	50	21	60	24	80	30
B747-100B	341553	171870	1,32	41	17	49	19	58	22	68	26	46	20	51	21	62	23	82	30
B747-100B SR	260362	164543	1,04	27	16	32	17	40	21	47	25	33	19	36	20	43	23	59	30
B747SP	302093	147716	1,3	35	14	42	16	51	19	59	22	40	17	44	17	52	19	71	25
B747SP	318881	147996	1,4	37	14	44	15	52	18	60	21	41	16	45	17	54	18	72	23
B747-200B	352893	172886	1,37	45	18	53	20	64	24	73	28	50	21	55	22	67	24	88	31
B747-200C	373305	166749	1,3	46	16	55	18	66	21	76	25	52	19	57	20	70	22	92	29
B747-200F/300	379201	156642	1,39	47	16	57	17	68	20	78	24	53	18	59	19	73	21	94	26
B747-400	395987	178459	1,41	53	19	63	21	75	25	85	29	57	21	64	22	79	25	101	32
B757-200	109316	60260	1,17	27	12	32	14	38	17	44	19	29	14	32	14	39	17	52	22
B767-200	143789	78976	1,31	33	15	38	17	46	20	54	24	37	18	40	19	47	21	65	26
B767-200ER	159755	80853	1,21	37	16	44	18	54	21	63	25	43	19	47	19	57	22	77	28
B767-300	159665	86070	1,21	38	17	45	19	54	23	63	27	43	20	48	21	58	24	78	32
B767-300ER	172819	87926	1,31	43	18	51	20	61	24	71	28	48	21	53	22	65	24	86	32
B767-300ER	185520	88470	1,38	47	18	56	20	66	24	76	28	51	21	57	22	70	24	92	31
Caravelle Series10	52000	29034	0,75	15	7	17	8	20	9	22	10	15	7	17	7	19	9	23	11
Caravelle Series12	55960	31800	0,88	16	8	19	9	22	10	25	12	17	8	19	9	21	10	26	12
Concorde	185066	78698	1,26	61	21	71	22	82	25	91	29	65	21	72	22	81	26	98	32
Canadair CL44	95708	40370	1,12	25	9	30	10	35	11	40	13	27	9	30	10	36	11	47	14
Convair 880M	87770	40195	1,03	26	9	31	10	36	12	41	14	27	10	31	10	36	12	44	15
Convair 990	115666	54685	1,28	41	15	48	17	54	19	60	22	40	15	45	16	53	19	64	24
DC-3	11430	7767	0,31	6	4	7	5	7	5	7	5	4	3	6	4	8	5	9	6
DC-4	33113	22075	0,53	13	8	15	9	17	10	18	11	11	7	14	9	16	10	20	12
DC-8-43	144242	61919	1,22	41	15	49	16	57	18	65	21	43	15	49	16	59	18	74	23
DC-8-55	148778	62716	1,3	45	15	53	16	62	19	69	22	46	15	53	16	63	18	78	24
DC-8-61/71	148778	68992	1,3	46	17	54	19	63	22	71	25	48	18	54	19	64	21	80	28
DC-8-62/72	160121	65025	1,29	47	15	56	16	65	19	73	22	49	16	56	16	67	18	83	24
DC-8-63/73	162386	72002	1,34	50	17	60	19	69	23	78	26	52	18	59	19	71	22	87	29

ANEXO 1 – TABELA DE ACN (continuação)

Aeronave	Carga Total (kg)		Pressão dos Pneus (MPa)	ACN Pavimentos Rígidos - k em MN/m³								ACN Pavimentos Flexíveis - CBR							
	Peso Máximo Decolagem (PMD)	Operação Vazio (OV)		Alta 150		Média 80		Baixa 40		Ultra Baixa 20		Alta 15		Média 10		Baixa 06		Ultra Baixa 03	
				PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV	PMD	OV
DC-9-15	41504	22300	0,9	23	11	25	12	26	13	28	14	21	10	22	11	26	12	28	14
DC-9-21	45813	23879	0,98	27	12	29	13	30	14	32	15	24	11	26	12	29	13	32	15
DC-9-32	49442	25789	1,07	29	14	31	15	33	15	34	16	26	12	28	13	31	14	34	16
DC-9-41	52163	27821	1,1	32	15	34	16	35	17	37	18	28	13	30	14	33	15	37	18
DC-9-51	55338	29336	1,17	35	17	37	17	39	18	40	19	31	15	32	15	36	16	39	19
MD-81	63957	35571	1,17	41	20	43	21	45	23	46	24	36	18	38	19	43	21	46	24
MD-82/88	68266	35629	1,27	45	21	7	22	49	24	50	25	39	18	42	19	46	20	50	24
MD-83	73023	36230	1,34	49	21	51	22	53	24	55	25	42	18	46	19	50	21	54	24
MD-87	68266	33965	1,27	45	19	47	21	49	22	50	23	39	17	42	18	46	19	50	22
DC-10-10	196406	108940	1,28	45	23	52	25	63	28	73	33	52	26	57	27	68	30	93	38
DC-10-10	200942	105279	1,31	46	22	54	24	64	27	75	31	54	24	58	25	69	28	96	36
DC-10-15	207746	105279	1,34	48	22	56	24	67	27	74	31	55	24	61	25	72	28	100	36
DC-10-30/40	253105	120742	1,17	44	20	53	21	64	24	75	28	53	22	59	23	70	25	97	32
DC-10-30/40	260816	124058	1,21	46	20	55	21	67	25	78	29	56	23	61	23	74	26	101	33
DC-10-30/40	268981	124058	1,24	49	20	59	21	71	25	83	29	59	23	64	23	78	26	106	33
MD-11	274650	127000	1,41	56	23	66	25	79	28	92	32	64	25	70	26	85	29	114	37
DCH 7 DASH 7	19867	11793	0,74	11	6	12	6	13	7	13	7	10	5	11	6	12	6	14	8
Fokker 27 Mk500	19777	11879	0,54	10	5	11	6	12	6	12	7	8	4	10	5	12	6	13	7
Fokker 50 HTP	20820	12649	0,59/0,55	10	6	11	6	12	7	13	7	8	5	10	5	12	6	14	8
Fokker 50 LTP	20820	12649	0,41	9	5	10	5	11	6	12	7	6	4	9	5	11	6	14	8
Fokker 28	29484	15650	0,58	14	6	15	7	17	8	18	9	11	5	14	6	16	7	19	9
Mk1000LTP	29484	16550	0,69	15	8	16	8	18	9	18	10	13	6	15	7	17	8	20	10
Fokker 28 Mk1000HTP	29484	16550	0,69	15	8	16	8	18	9	18	10	13	6	15	7	17	8	20	10
Fokker 100	44680	24375	0,98	28	13	29	14	31	15	32	16	25	12	27	13	30	14	32	16
HS125-400A - 400B	10600	5683	0,77	6	3	6	3	7	6	7	3	5	2	5	3	6	3	7	3
HS125-600A - 600B	11340	5683	0,83	7	3	7	3	7	3	8	3	5	2	6	3	7	3	8	3
HS748	21092	12183	0,59	10	5	11	5	11	6	12	6	8	4	9	5	11	6	13	7
IL62	162600	66400	1,08	42	14	50	15	60	18	69	20	47	16	54	17	64	18	79	24
IL62M	168000	71400	1,08	43	16	52	17	62	19	71	22	50	17	57	18	67	20	83	26
IL-76T	171000	83800	0,64	38	11	38	14	38	16	39	16	37	15	40	16	45	18	53	22
IL-86	209500	111000	0,88	25	13	31	14	38	16	46	19	34	16	36	17	43	19	61	23
L-100-20	70670	34205	0,72	30	14	33	15	36	16	38	17	27	12	31	14	33	15	38	16
L-100-30	70670	34701	0,72	30	14	33	15	36	16	38	17	27	12	31	14	33	15	39	17
L-1011-1	195952	108862	1,33	45	24	52	25	62	28	73	33	52	25	56	27	66	29	91	38
L-1011-100/200	212281	110986	1,21	46	23	55	24	66	28	78	32	56	25	61	26	73	30	100	38
L-1011-500	225889	108924	1,27	50	23	59	24	72	27	84	31	60	25	65	26	79	18	107	36
Trident 1E	61160	33203	1,03	32	15	34	16	37	17	39	18	23	10	24	11	27	12	32	15
Trident 2E	65998	33980	1,07	37	16	39	17	42	18	44	19	26	11	28	12	31	13	36	16
Trident 3	68266	39060	1,14	37	18	40	19	42	21	44	22	26	13	28	14	31	15	36	18
TU-134A	47600	29350	0,83	11	7	13	8	16	9	19	10	12	7	13	8	16	9	21	12
TU-154B	98000	53500	0,93	19	8	25	10	32	13	38	17	20	10	24	11	30	13	38	18
VC10-1150	151953	71940	1,01	38	16	46	17	56	20	65	23	44	17	50	18	61	21	77	27

ANEXO 2 – CÓDIGO DE REFERÊNCIA DE AERÓDROMOS E AERONAVES

ANEXO 2 – CÓDIGO DE REFERÊNCIA DE AERÓDROMOS E AERONAVES

Número Código	Comprimento da pista de referência (m)	Letra Código	Envergaduras da aeronave (m)	Distância entre os bordos externos do trem de pouso principal (m)
1	Menor que 800	A	Menor que 15	Menor que 4,5
2	De 800 a 1.199	B	De 15 a 23,9	De 4,5 a 5,9
3	De 1.200 a 1.799	C	De 24 a 35,9	De 6,0 a 8,9
4	Maior que 1.800	D	De 36 a 51,9	De 9,0 a 13,9
		E	De 52 a 64,9	De 9,0 a 13,9
		F	De 65 a 79,9	De 14,0 a 15,9

Observações de ICAO (2004):

- i. O objetivo do código de referência é estabelecer um método simples para inter-relacionar as diversas especificações referentes às características dos aeródromos, bem como estabelecer um conjunto de instalações e recursos que sejam adequados às aeronaves que se planeja operar no aeródromo;
- ii. Não se pretende que o código seja usado para a determinação do comprimento da pista de pouso e decolagem ou da resistência necessária dos pavimentos;
- iii. O número ou letra códigos dentro de um componente escolhido para fins de projeto refere-se às características da aeronave crítica para a qual a infraestrutura está sendo projetada ou quando se planeja atividades de manutenção na pista de pouso e decolagem.

ANEXO 3 - MODELO DE FORMULÁRIO PARA LEVANTAMENTO DO PCI

ANEXO 3 – MODELO DE FORMULÁRIO PARA LEVANTAMENTO DO PCI

ÍNDICE DE CONDIÇÃO DO PAVIMENTO - PCI FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO - PAVIMENTO FLEXÍVEL <small>(Adaptado de USACE (1989) e Sucupira (2006))</small>							
AEROPORTO:				DATA:			
CIDADE/ESTADO:				SEÇÃO:			
FACILIDADE:				UNID. DE AMOSTRA:			
PESQUISADOR:				ÁREA DA AMOSTRA:			
TIPOS DE DEFEITOS				RASCUNHO			
1 - Trincas Couro de Jacaré		9 - Deterioração (presença de óleo/combustíveis)					
2 - Exudação		10 - Remendo					
3 - Trincas de bloco		11 - Polimento do agregado					
4 - Corrugação		12 - Desagregação/Desprendimento					
5 - Depressão/Afundamento		13 - Afundamento da Trilha de Roda					
6 - Erosão por queima ou combustão		14 - Empuxo revestimento (placas de concreto)					
7 - Trincas de reflexão (base de concreto)		15 - Escorregamento					
8 - Trincas transversais e longitudinais		16 - Inchamento					
TIPOS DE DEFEITOS EXISTENTES							
Quantidade e Severidade							
Severidade Total	A						
	M						
	B						
CÁLCULO DO PCI							
Tipos de Defeitos	Severidade	Densidade	Valor Deduzido	PCI		CONDIÇÃO DO PAVIMENTO	
				PCI = 100 - VDC		Excelente	(86 - 100)
						Muito Bom	(71 - 85)
						Bom	(56 - 70)
						Razoável	(41 - 55)
						Pobre	(26 - 40)
						Muito Pobre	(11 - 25)
						Péssimo	(0 - 10)
q =	Valor Deduzido Total (VDT)						
	Valor Deduzido Corrigido (VDC)						
OBSERVAÇÕES							