

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES

**TECNOLOGIA APLICADA À AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DOS
PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**

AIMÊ FERNANDA SOUZA E SILVA GOMES

ORIENTADOR: ADYR DA SILVA – PhD

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DA AVIAÇÃO CIVIL

PUBLICAÇÃO: E-TA-006A/2008
BRASÍLIA/DF: JULHO/2008

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

CENTRO DE FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES

**TECNOLOGIA APLICADA À AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DOS
PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**

AIMÊ FERNANDA SOUZA E SILVA GOMES

**MONOGRAFIA DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO SUBMETIDA AO CENTRO DE
FORMAÇÃO DE RECURSOS HUMANOS EM TRANSPORTES DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ESPECIALISTA EM GESTÃO
DA AVIAÇÃO CIVIL**

APROVADA POR:

ADYR DA SILVA, PhD (UnB)

(Orientador)

JOSÉ JOAQUIM GUILHERME DE ARAGÃO, PhD (UnB)

(Examinador)

PAULO ROBERTO FARIAS FALCAO PhD (Externo)

(Examinador)

BRASÍLIA/DF, 4 DE JULHO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

GOMES, AIMÊ FERNANDA SOUZA E SILVA

Tecnologia Aplicada à Avaliação das Estruturas dos Pavimentos Aeroportuários
xii, 75p., 297mm (CEFTRU/UnB, Especialista, Gestão da Aviação Civil, 2008).

Monografia de Especialização – Universidade de Brasília, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes.

1. Pavimento Aeroportuário
3. Tecnologia Não Destrutiva

2. Avaliação de Pavimentos
4. GPR

I – CEFTRU/UnB

II – Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GOMES, A.F.S.S. (2008). Tecnologia Aplicada à Avaliação das Estruturas dos Pavimentos Aeroportuários, Monografia de Especialização, Publicação E-TA-006A/2008, Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Aimê Fernanda Souza e Silva Gomes

TÍTULO DA MONOGRAFIA: Tecnologia Aplicada à Avaliação das Estruturas dos Pavimentos Aeroportuários

GRAU/ANO: Especialista/2008

É concedida à Universidade de Brasília, permissão para reproduzir cópias desta monografia de especialização e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de especialização pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Aimê Fernanda Souza e Silva Gomes

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos pais pela formação consolidada no exemplo diário, quando me foram passados valores que não se aprende nos conteúdos programáticos das escolas: honestidade, gratidão, fraternidade e amor.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador nessa pesquisa, Professor Adyr da Silva, pela generosidade, dedicação e compreensão, contribuindo com total desprendimento na transmissão e partilha do seu vasto conhecimento adquirido ao longo da vida dedicada à aviação civil.

À Diretoria da Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária – Infraero, pela oportunidade de participar desse curso de especialização, mais precisamente à pessoa de Eleuza Terezinha Lopes, ex-Diretora de Engenharia, por selecionar-me para realizar o programa de especialização em Gestão da Aviação Civil.

Ao Superintendente Regional Wilson Raimundo Estrela Oliveira, pelo apoio, compreensão e tempo concedido para me dedicar ao curso de Gestão da Aviação Civil.

A Silvia pela dedicação, compreensão e cuidado para com todos os componentes da turma, principalmente por sua alegria que fez a diferença nos momentos de maior estresse.

Aos meus queridos colegas de turma que, ao final do curso, deixaram de ser colegas e transformaram-se em verdadeiros amigos.

A todos os queridos amigos que entraram comigo na batalha em busca de bibliografia tão difícil, principalmente sobre aeroportos.

Finalmente, externo meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para a realização desse trabalho, independentemente da magnitude da ajuda.

RESUMO

Este trabalho trata da avaliação das estruturas dos pavimentos aeroportuários, aplicando tecnologias modernas e não destrutivas. A pesquisa busca demonstrar a complexidade das estruturas de pavimentos e sua interface com as cargas e o meio ambiente, principalmente no contexto aeroportuário, que é composto por diversos fatores de risco e de difícil controle, além da necessidade de garantir a qualidade e a segurança. Foram analisados os conceitos básicos de pavimentação com ênfase nas especificidades dos pavimentos aeroportuários como sistema interativo entre aeronave e pavimento, relação configurada pelo método ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/ Pavement Classification Number*). Apresenta-se a metodologia de gestão de pavimentos e os benefícios que sua aplicação trará para os usuários e para qualidade da rede de pavimentos, quando são realizadas as avaliações funcionais e estruturais de forma sistêmica e continuada, utilizando as tecnologias não destrutivas que estão em uso corrente em outros países e que precisam ser aplicadas e difundidas no ambiente aeroportuário no Brasil.

Palavras-chaves: Pavimento Aeroportuário, Tecnologia não Destrutiva, Avaliação de Pavimentos, GPR, FWD.

ABSTRACT

This work deals with the evaluation of airport pavements through the use of modern and nondestructive technologies. The purpose of the research is to demonstrate modern ways of measuring airport pavement structures and their interactions to load absorption under adverse environmental conditions mainly. This survey was conducted aiming the Brazilian scenario where infrastructure of airports are requiring special attention to match growing number of movements, each time tolling heavier aircraft

Airport runways and aprons load capacity have demands which are sometimes out of airport management control. Many risk factors affecting airport pavement structures are difficult to evaluate or sometimes have difficulties to obtain and treat essential technical data needed to their control. Application of right technology to deal with this subject is fundamental for managers in order to enable them to select and adopt the best course of action required by pavement decision making process.

Special motivation for this research is originated on the necessity of using state of art technology, as far as equipments and manpower are concerned, in order to provide quality services to insure safety condition of airport runways operation. It is important remark that good finishing pavement is essential to have the desirable degree of comfort for passengers. Management of airport pavement structure maintenance is function of capability to acquire right and timely demanded information on pavement conditions. Basic analysis of pavements emphasizes the need to identify continuously specific characteristic and results of the interactive process of regular reactions between airport pavements and aircrafts. This relationship has to be determined to each aircraft model matching to runway and apron pavement which is obtained through the specific method designated internationally as ACN/PCN (Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number). This work presents proposal of developing methodology for airport pavement management using modern technical principles to be adjusted to Brazilian conditions. Application of this developed methodology will bring great benefits to airports management by ways of assuring superior quality of pavement networks when functional and structural evaluations are performed. Surveyed methodology includes the use of systematic and continuous nondestructive technologies including FWD and GPR techniques.

Keywords: Airports pavement, Nondestructive technologies, Pavement evaluation, GPR, FWD.

SUMÁRIO

Capítulo		Página
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	APRESENTAÇÃO	1
1.2	PROBLEMA	2
1.3	JUSTIFICATIVA	2
1.4	OBJETIVO	4
1.5	FUNDAÇÃO TEÓRICA	4
1.6	HIPÓTESE	5
1.7	METODOLOGIA	5
2	PAVIMENTOS	8
2.1	INTRODUÇÃO	8
2.2	CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTO	9
2.3	FATORES QUE INFLUENCIAM OS PROJETOS DE PAVIMENTOS	9
2.4	ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS	10
2.4.1	Camadas dos Pavimentos Flexíveis	11
2.4.2	Camadas dos Pavimentos Rígidos	12
2.5	MECANISMOS DE DETERIORIZAÇÃO	13
2.6	PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS	14
2.6.1	Fatores que Influenciam Projetos de Pavimentos Aeroportuários	15
2.6.2	Resistência dos Pavimentos Aeroportuários	18
2.6.3	Evolução da Frota de Aeronaves	22
2.6.4	Manutenção de Pavimentos	24
3	GERÊNCIA DE PAVIMENTOS	27
3.1	INTRODUÇÃO	27
3.2	POR QUE GERENCIAR PAVIMENTOS?	27
3.3	BENEFÍCIOS DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS - SGP	28
3.4	COMPONENTES BÁSICOS DE UM SGP	35
3.5	GERÊNCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS NO BRASIL	38

3.5.1	Avaliação de Pavimentos nos Aeroportos do Brasil - Esforço Pioneiro	39
3.5.2	Tentativa de Implantar um Sistema de Gerência de Pavimentos	40
4	AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS	42
4.1	INTRODUÇÃO	42
4.2	AVALIAÇÃO FUNCIONAL	43
4.2.1	Avaliação Funcional Aplicada a Aeroportos	44
4.3	AVALIAÇÃO ESTRUTURAL	46
4.3.1	Métodos de Avaliação Estrutural	47
4.3.2	Avaliação Estrutural em Gestão de Aeroportos	50
5	TECNOLOGIA APLICADA à AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS	53
5.1	INTRODUÇÃO	53
5.2	PROSPECÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE PAVIMENTOS	54
5.2.1	Princípio de Operação do GPR	56
5.2.2	Potencial do GPR na Avaliação de Pavimentos	58
5.3	MEDIDAS DE DEFLEXÕES	61
5.3.1	Princípios de Operação do FWD	62
5.3.2	Noções de Retroanálise	65
5.4	AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS COM FWD E GPR	65
6	CONCLUSÕES	68
6.1	INTRODUÇÃO	68
6.1.1	Tecnologia	68
6.1.2	Sugestões	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
Quadro 2.1	Evolução das Aeronaves	23
Quadro 3.1	Principais Atividades e Decisões Dentro de um SGP Completo	31
Quadro 4.1	Condição do Pavimento em Função do Índice de Condição do Pavimento – PCI	45
Quadro 5.1	Propriedades Eletromagnéticas Típicas	57

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
Figura 2.1	Componente de um Pavimento Flexível	11
Figura 2.2	Componente de um Pavimento Rígido	12
Figura 2.3	Distribuição Usual das Cargas por Trem de Pouso	16
Figura 3.1	Típico Ciclo de Vida das Condições de um Pavimento	28
Figura 3.2	O Processo de Deterioração dos Pavimentos	28
Figura 3.3	Relações de Complexidade de Modelos e Detalhamento de Informações em Gerência de Pavimentos	30
Figura 3.4	SGP Completo e Operacional Alterado	32
Figura 3.5	Caracterização do Processo de Gerência de Pavimentos	38
Figura 4.1	Decisão para Mudança de PCN	51
Figura 5.1	Princípio de Funcionamento do GPR	56
Figura 5.2	Modelo de Equipamento de GPR	58
Figura 5.3	Princípio de Funcionamento do FWD	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Advisory Circular (Circular de Advertência)
AIP	Airborne Publication Information (Publicação de Informações Aeronáuticas)
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CAN	Aircraft Classification Number (Número de Classificação de Aeronaves)
CBR	California Bearing Ratio (Índice de Suporte Califórnia)
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica.
FAA	Federal Aviation Administration (Administração Federal da Aviação)
FWD	Falling Weight Deflectometer (Defletômetro de carga dinâmica por queda de pesos)
GPR	Ground Penetrating Radar (Radar de Penetração no Solo)
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
NC	Nível de Confiabilidade
OACI	Organização Internacional da Aviação Civil
ONU	Organização das Nações Unidas
PCI	Pavement Conditioning Index (Índice de Condição do Pavimento)
PCN	Pavement Classification Number (Número de Classificação do Pavimento)
PMD	Peso Máximo de Decolagem
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
USACE	U. S. Army Corps of Engineers (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos)

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Os transportes em geral e o aéreo em particular por suas características contribuem para aproximar os cidadãos brasileiros e atuar na cadeia logística nacional. Esta mobilidade é assegurada, em grande parte, pelas infra-estruturas aeroportuárias, sendo estas muito importantes para a sustentabilidade social e econômica do Brasil.

“A aviação civil desempenha um papel catalisador: ela abre novos mercados aos produtores, facilita a divulgação de novas tecnologias, propicia o acesso aos serviços essenciais à comunidade e dá suporte à assistência social” (Silva, 1991).

Em 2008 o país possuía 739 aeródromos públicos destinados ao transporte de passageiros e cargas, propiciando importante capilaridade ao extenso território nacional. Esses aeródromos são administrados pela Infraero, Governos Estaduais, Municipais e pela Aeronáutica, muitos deles tendo a exploração outorgada à iniciativa privada (www.anac.com.br).

A condição atual da infra-estrutura dos meios de transportes do Brasil, dotada de uma malha rodoviária mal conservada, ferrovias escassas e baixa utilização da rede fluvial, faz do transporte aéreo uma alternativa relevante de deslocamento e, muitas vezes, única opção de acesso a determinadas regiões. Deste modo, as infra-estruturas aeroportuárias requerem uma eficiente gestão, atuando para conservá-las por meio de avançadas tecnologias.

A partir do início do terceiro milênio, o setor aéreo doméstico cresceu, em média, 15% ao ano (www.infraero.gov.br). A maior concentração de movimentos de aeronaves situa-se nos aeroportos sob a administração da Infraero – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – visto que, em 1,9 milhões de movimentos ocorridos em 2007, aeronaves operaram 97% deles nos 67 aeroportos por ela administrados.

A infraestrutura gerenciada pela Infraero, nesses 67 aeroportos, compõe um conjunto de áreas pavimentadas de pistas de pouso e decolagem, pistas de táxi e pátios de estacionamento de aeronaves com cerca de 10.711.589 m² de pavimento flexível e 4.474.801 m² de pavimento rígido, representando elevado valor patrimonial e que permite a movimentação de aeronaves,

de passageiros e de cargas, atividade essencial para o desenvolvimento equilibrado do país (Infraero, 2008).

Após longos anos sem a ocorrência de grandes acidentes aéreos no Brasil, os acidentes aeronáuticos ocorridos em 2006 e 2007 aguçaram o interesse da sociedade para os aeroportos e o tráfego aéreo, incluída nessa temática as condições de infra-estrutura com relação à segurança das pistas de pousos e decolagens nos aeroportos brasileiros.

Para os administradores dos aeroportos responsáveis pela manutenção dessa imensa área construída, com estrutura bem projetada compondo os pavimentos aeroportuários, tornou-se urgente evidenciar a segurança e a qualidade dos pavimentos aeroportuários, tranquilizando a sociedade quanto às operações aeronáuticas nos aeroportos do Brasil. Paralelamente, passou a ser imprescindível estabelecer prioridades para as obras de manutenção e modernização a serem implantadas, atenuando falhas decorrentes de intensa utilização em ambiente de escassas dotações orçamentárias em anos recentes.

O caminho para evidenciar a qualidade dos pavimentos e definir as prioridades passa pelo aprimoramento da gestão de pavimentos, a qual tem como ferramentas disponíveis avançadas tecnologias já usadas por diversos departamentos de transportes em muitos países, tanto para aeroporto quanto para o transporte rodoviário.

Atualmente há necessidade de atualizar as informações relativas às estruturas dos pavimentos dos sistemas de pátios e pistas distribuídos pelo país, que continuamente têm sido submetidas à operação de aeronaves cada vez maiores, mais pesadas e sendo ciclados a maiores frequências do que as de projeto original, sobrecarga crescente à vista da rápida evolução da frota de aeronaves.

Pavimentos apresentam ciclo de vida formado por duas fases: a primeira que termina com a construção do pavimento; a segunda fase que corresponde à sua conservação durante determinado período de vida. A primeira fase compreende certo número de etapas necessárias à sua realização, nomeadamente o Planejamento, o Projeto e a Construção. A segunda fase corresponde ao processo cíclico de gestão da qualidade dos pavimentos, o qual engloba, entre outras tarefas, a avaliação dos pavimentos tendo como referência o inventário da infra-estrutura, catálogo de patologias obtido por meio de avaliações estruturais e funcionais.

A formação de um banco de dados da infra-estrutura começa com a implantação de um catálogo composto por informações relativas aos pavimentos com qualidade e alto grau de confiabilidade, obtidos a partir de inventário da rede de pavimentos para catalogar as estruturas e as patologias dos pavimentos.

Avaliação de pavimentos requer rapidez, acuidade e técnicas de avaliação eficientes. Ao longo dos últimos anos, os avanços da tecnologia da informação e das tecnologias de testes não destrutivos passaram a proporcionar rapidez na avaliação das estruturas dos pavimentos. Esta pesquisa tem o propósito de determinar a aplicabilidade de novas tecnologias não destrutivas existentes como meio de aprimorar os métodos de avaliação das estruturas dos pavimentos.

1.2 PROBLEMA

Pesquisar como a gestão de pavimentos pode ser beneficiada com o emprego de tecnologia de ensaios não destrutivos para o conhecimento da estrutura do pavimento e informações sobre sua integridade, a fim de aumentar a disponibilidade de informações de modo a adotar medidas preventivas de manutenção dos pavimentos diante dos crescentes ciclos de operação e esforços a que são submetidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Grande parte dos principais aeroportos brasileiros servindo à aviação regular comercial teve seu sistema de pistas e pátios construído a partir da Segunda Guerra mundial, ou seja, há mais de 60 anos, utilizando aeronaves de projeto, muito mais leves do que as empregadas nas décadas posteriores. Nesse decurso de prazo, o peso das aeronaves aumentou continuamente, indo dos antigos DC-3, de 13 toneladas de peso máximo de decolagem, às aeronaves de fuselagem larga a partir dos anos 80 com esse peso decuplicado, para atingir mais de 590 toneladas em 2007, 45 vezes maior do que nas origens. A partir do ano 2000, os sistemas de pistas têm recebido serviços de manutenção e reabilitação, mas sem dispor de programa sistemático de gerenciamento de pavimentos. Esse fato contribui para ações retardadas de recuperação, bem como para os altos custos decorrentes dessa demora.

Os pavimentos constituem-se em estruturas de engenharia com grande complexidade que passam por processo de degradação estrutural contínuo desde a sua abertura ao tráfego e precisam ser permanentemente monitorados e bem gerenciados (Gonçalves & Ceratti, 1998). Constatase que há grandes dificuldades na obtenção de dados relativos às estruturas dos pavimentos brasileiros (Fonseca, 1998). Na década de 70, passou-se a obter e tratar dados usando métodos de exame de superfície (PCI – *Pavement Classification Index*) acompanhados por amostragem reduzida, empregando técnicas intrusivas tipo sondagem.

Esse avanço, entretanto, não incorporou tecnologias não destrutivas. Segundo o autor supracitado, atualmente uma das maiores preocupações dos projetistas e dos responsáveis pela gestão da manutenção dos pavimentos é a obtenção de informações acerca do histórico dos pavimentos (idade, espessura das camadas, intervenções realizadas, tipo, condições dos materiais constituintes) e alocação de número suficiente de profissionais treinados para realizar as vistorias e consolidação em banco de dados do inventário continuado da estrutura dos pavimentos da rede de componentes pavimentados (Fonseca, 1998).

Nas últimas décadas do século XX assistiu-se a grande progresso no desenvolvimento e fabricação de equipamentos, tratamento de dados e técnicas de interpretação utilizando métodos não destrutivos. Uma dessas tecnologias tem empregado a penetração de ondas eletromagnéticas que, ao se refletirem, conduzem informações importantes, principalmente sobre a identificação das espessuras das camadas; verificação dos materiais empregados e investigação da presença de vazios sob as placas de concreto e outras anomalias estruturais sob a superfície dos pavimentos das áreas de movimentação das aeronaves.

Estes métodos de avançada tecnologia permitem varredura contínua e repetitiva, são de fácil aplicação, imediata aquisição de dados e de custo de operação reduzido. A característica não destrutiva das avaliações é imprescindível uma vez que, em sua maior parte, os elementos da área de movimento de aeronaves não podem ter interrupção das operações atendidas. Além disso, é muito grande a necessidade de análise de pavimentos, pois, ao longo de muitas décadas de operação eles passaram por diversas obras de recuperação e reforço sem a sistemática consolidação das informações em banco de dados. Divulgar a aplicação dessas novas tecnologias no Brasil tornou-se um desafio permanente. Pesquisar meios de adoção generalizadas dessas tecnologias nos pavimentos dos aeroportos brasileiros é tarefa imperiosa.

1.4 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo principal pesquisar o uso de novas tecnologias para avaliações de pavimentos como ferramenta para o gerenciamento dos pavimentos aeroportuários.

Complementarmente, outros objetivos igualmente relevantes são:

- Difundir novas tecnologias utilizadas na avaliação de pavimentos;
- Identificar a aplicabilidade dessas tecnologias no Brasil;
- Analisar os impactos da falta de gerenciamento continuado da rede de pavimentos aeroportuários brasileiros.

1.5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Embora a aplicação de tecnologia avançada tenha apenas algumas décadas de experiências, já foi possível criar uma base teórica de sustentação ao tema: estrutura e avaliação de pavimentos, incluindo engenharia, tecnologias não destrutivas e gerenciamento de pavimentos.

A fundamentação teórica aplicada ao estudo teve como base teses, dissertações e documentos técnicos desenvolvidos nos grandes centros de estudos nacionais e internacionais, além de normas de organizações nacionais e internacionais que regulam a aviação.

Embora limitada a alguns livros sobre a matéria, mesmo em nível mundial, certas obras, como as constantes da bibliografia ao final deste relatório, foram utilizadas. Também serviram de suporte as obras técnicas no domínio da engenharia sobre estruturas, pavimentos em geral, ensaios e materiais, as quais foram valiosas para embasamento de apreciações e, ainda, consultas eventuais para ajustamento de conceitos de construção e manutenção.

1.6 HIPÓTESE

Para desenvolver a pesquisa objetivada, algumas premissas foram necessárias para encadear partes do trabalho. Assim foram adotadas as hipóteses a seguir:

- O estado da arte atual no campo da avaliação de pavimentos permite empregar tecnologia moderna no Brasil, a qual pode ser disseminada para uso corrente no domínio aeroportuário.
- O uso de métodos não destrutivos na avaliação das estruturas dos pavimentos possibilita a eficiente e continuada gestão dos pavimentos.
- A aplicação de técnicas avançadas na gestão de pavimentos permite conhecer, em caráter continuado, as principais anomalias da estrutura ocorridas com o tempo.

1.7 METODOLOGIA

A metodologia a ser empregada para a pesquisa adota a abordagem hipotética dedutiva. Desse modo, as atividades de pesquisas serão iniciadas pela obtenção de informações atualizadas sobre as modernas tecnologias, objeto desse trabalho, o que exigirá inicialmente a revisão bibliográfica com ênfase na identificação e seleção de documentos relacionados ao tema.

As modernas tecnologias utilizadas na avaliação de pavimentos beneficiam os aeroportos, pois são aplicáveis a pistas de pouso e decolagem, pistas de táxi e pátios de estacionamento de aeronaves. Entretanto, há documentação técnica limitada, em geral, disponível apenas nos centros de pesquisa e nos fabricantes de equipamentos. Esta situação não facilita a realização do trabalho, mas é indispensável persistir no esforço para obter fontes atualizadas e avançadas discutindo e propondo soluções no estado da arte em que se encontra a tecnologia de pavimentos.

Em sequência à pesquisa bibliográfica, foram examinadas as condições segundo as quais essas novas tecnologias podem ser empregadas como ferramentas para melhorar projetos, construção, manutenção e gerenciamento dos pavimentos aeroportuários.

De forma a atingir nível de consistência técnica satisfatório, o desenvolvimento das pesquisas compõe-se, em sua execução, das seguintes etapas: examinar a literatura técnica já consagrada que contém tanto a conceituação geral sobre pavimentação como a específica para pavimentos de aeroportos; separar e analisar as informações disponíveis na literatura técnica sobre avaliação de pavimentos e os métodos existentes que usam tecnologia destrutiva e não destrutiva; identificar e selecionar os equipamentos com novas tecnologias não destrutivas aplicadas na avaliação de pavimentos e pesquisar como as novas tecnologias têm sido aplicadas no setor de transporte em outros países; avaliar e comentar a aplicação de tecnologia na gestão de pavimentos aeroportuários no Brasil ao longo dos anos; pesquisar as fases de implantação do gerenciamento da rede de pavimentos e examinar a teoria sobre os benefícios que essa atividade produz para a gestão de pavimentos para subsidiar as decisões dos administradores responsáveis pela manutenção de pavimentos; identificar a aplicabilidade dessas tecnologias na avaliação de pavimentos aeroportuários e as implicações de sua incorporação à gestão de pavimentos.

A metodologia a ser empregada permite a organização do trabalho da seguinte maneira:

- Etapa 1: *Revisão da bibliografia*: pesquisar a bibliografia disponível aplicável à pesquisa pretendida, separar e classificar as partes de interesse, examinar a aplicabilidade dos conceitos e informações relacionadas com pavimentos aeroportuários, avaliação de pavimentos, gestão de pavimentos e novas tecnologias contidas nas partes selecionadas da bibliografia, tudo isso visando à aplicação dos elementos constituintes dessa pesquisa inicial na avaliação de pavimentos aeroportuários.
- Etapa 2: *Pavimentos*: para esse assunto, é importante apresentar introdução à conceituação geral de pavimentos, obtida através de consulta à literatura técnica consolidada na engenharia de pavimentos, nos documentos sobre mecanismos de deterioração e técnicas utilizadas para a manutenção dos pavimentos. Torna-se essencial a consulta às publicações da FAA (Federal Aviation Administration) para as referências específicas aos pavimentos aeroportuários. Nesse contexto, são descritas brevemente as características de projetos, composição das estruturas dos pavimentos aeroportuários e, também, são examinadas as especificidades relativas aos pavimentos aeroportuários e sua interface com os números indicadores de classificação de aeronaves por comparação com os de capacidade de suporte dos pavimentos.

- Etapa 3: *Gerência de pavimentos:* nesse capítulo, objetiva-se apresentar a importância do emprego de sistema de gerência de pavimentos como ferramenta consistente para a seleção de necessidades e prioridades de manutenção e reabilitação (M&R) dos pavimentos aeroportuários de tal forma que permita a tomada de decisão no tempo ideal e de forma racional e adequada para a aplicação dos recursos financeiros permitindo obter uma macro visão em nível de rede e a escolha da alternativa mais vantajosa técnica e economicamente em nível de projeto;
- Etapa 4: *Avaliação de pavimentos:* nesse capítulo, estudam-se os tipos de avaliação de pavimentos funcional e estrutural, além de pesquisar os métodos de avaliação estrutural que utilizam tecnologias destrutiva e não destrutiva; pesquisam-se as atividades de avaliação de pavimentos nos aeroportos brasileiros ao longo dos anos: comenta-se o panorama envolvendo o gerenciamento de pavimentos aeroportuários no Brasil, destacando os principais acontecimentos com vistas a levantar dados sobre os pavimentos para utilização em sistema de gerenciamento de pavimentos; finalmente caracteriza-se os equipamentos utilizados nas campanhas de avaliação de pavimentos.
- Etapa 5: *Tecnologia aplicada à avaliação de pavimentos:* nesse capítulo, identificam-se e selecionam-se os equipamentos que utilizam tecnologia não destrutiva e que podem representar ferramentas potenciais para avaliação de pavimentos aeroportuários; apresenta-se caso de estudo com a experiência de sucesso em um aeroporto brasileiro com tecnologia NDT; comentam-se os tipos de tecnologias utilizadas no setor de transportes em outros países, focando nos resultados alcançados, tendências e ações preconizadas.
- Etapa 6: *Conclusões:* por fim, é efetuada análise crítica sobre a evolução de novas tecnologias aplicadas como ferramentas da gestão de pavimentos; comentar-se-ão as decisões estratégicas que poderão atribuir prioridades para a utilização dos recursos financeiros de forma racional com vistas às intervenções de manutenção e reabilitação de pavimentos aeroportuários.

2 PAVIMENTOS

2.1 INTRODUÇÃO

Pavimentar é atividade de construção de estrutura que almeja principalmente a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular e mais aderente, características que permitem, respectivamente, maior conforto no deslocamento e mais segurança em condições de pista úmida ou molhada (Balbo, 2007).

Segundo Balbo (2007), muitas pesquisas foram realizadas nos últimos cem anos. Em 1890, os pavimentos de concreto já eram usados com frequência na Alemanha e, a partir de 1909, nos Estados Unidos que também contava com significativa produção de asfalto derivado de petróleo por refinamento para aplicação em pavimentos. Na década de 1920, o advento do estudo metódico da mecânica dos solos impulsionou as pesquisas aplicadas à pavimentação por especialistas e professores de universidades e agências viárias nos Estados Unidos.

Para pavimentos de aeroportos, o envolvimento americano na Segunda Guerra Mundial, levou os engenheiros militares do USACE a formalizar metodologia específica para dimensionamento de pavimentos aeroportuários, tomando como base métodos empíricos do critério California Bearing Ratio (CBR) desenvolvidos por Porter no final da década de 1920, metodologia que, mais tarde, foi absorvida e normalizada por outras agências fora dos Estados Unidos (Balbo, 2007).

No Brasil, pavimentação é domínio do conhecimento técnico com defasagem significativa de emprego em relação aos países tecnologicamente mais evoluídos. Há necessidade de investimento ordenado em diversos setores: em pesquisa para o desenvolvimento de novas técnicas; em engenharia consultiva com a “atualização das normas de projeto e especificações construtivas genuinamente nacionais”; em construção, ultrapassando as barreiras da obsolescência de equipamentos e melhoria na qualificação da mão de obra; e em controle de qualidade (Balbo, 2007).

2.2 CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTO

Pavimento é a estrutura constituída de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e aeronaves, do clima, e além de propiciar aos usuários melhores condições de rolamento, conforto, economia e segurança.

O pavimento é destinado econômica e simultaneamente em seu conjunto a:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento, quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento (ABNT, 1982).

Classificam-se tradicionalmente nos seguintes tipos básico (Bernucci et al., 2007):

- Pavimentos flexíveis;
- Pavimentos rígidos.

Recentemente há tendência de usar-se nomenclatura pavimentos cimento Portland ou concreto-cimento e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento.

2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM OS PROJETOS DE PAVIMENTOS

Segundo Balbo (2007), quando da elaboração de projeto para construção de um determinado pavimento devem ser considerados os seguintes fatores:

- Características e condições do solo de subleito;
- Tráfego esperado (magnitudes e frequências das cargas dos veículos ou aeronaves);
- Materiais de construção disponíveis a distâncias economicamente viáveis;
- Práticas construtivas locais, experiência e habilidade das equipes de construção;
- Condições climáticas, principalmente pluviometria e oscilações térmicas;

- Importância da rodovia ou aeroporto, traduzida por meio de um nível de confiabilidade (NC) que o pavimento deverá apresentar. Quanto maior for o NC adotado, menores serão os custos de conservação e menos freqüentes serão as intervenções requeridas.

As etapas de projeto e manutenção dos pavimentos são influenciadas preponderantemente pelo tipo de revestimento empregado. O objetivo imediato na escolha e seleção de tipos de pavimentos e dos materiais a serem empregados em determinada obra é a minimização dos custos mantidas as demais condições (Balbo, 2007).

2.4 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS

As estruturas dos pavimentos têm como função essencial suportar os esforços procedentes das cargas e ações climáticas sem que apresentem prematuros processos de deterioração (Balbo, 2007).

Segundo esse autor, a estrutura de um pavimento é criada para receber e transmitir esforços de modo a aliviar pressões sobre as camadas inferiores que, em geral, são menos resistentes. Cada camada possui uma ou mais funções específicas que devem proporcionar aos veículos ou aeronaves condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática.

As estruturas dos pavimentos são constituídas de camadas sobrepostas de diferentes materiais e funcionalmente são caracterizadas por:

- De revestimento ou superficiais;
- De base;
- Sub-base;
- Subleito

As camadas de revestimento ou superficiais podem ser construídas em concreto de cimento Portland, concreto betuminoso, misturas areno-betuminosas e tratamento betuminoso da superfície.

As camadas de base consistem de uma variedade de materiais de boa resistência os quais podem ser classificados em: tratados e não tratados. Podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, mistura de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, macadame hidráulico etc. (Balbo, 2007)

Para as camadas de sub-base, podem ser usados os mesmos materiais de base (Balbo, 2007).

2.4.1 Camadas dos Pavimentos Flexíveis

Subleito: superfície obtida pela terraplanagem ou obra de arte e conformada ao greide e seção transversal, constituído de material natural, consolidado e compactado (Balbo, 2007);

Reforço do subleito: Não é uma camada obrigatória, pois o projetista pode optar por camadas superiores mais espessas, embora se procure utilizá-la por razões econômicas, uma vez que as camadas superiores são construídas de materiais mais nobres (Balbo, 2007);

Sub-base: Pode ser usada por razões de natureza construtiva ou econômica, ou seja, como camada corretiva do subleito, ou complementar à base, evitando espessas camadas de base por serem aquelas em geral de maior custo (Balbo, 2007);

Base: camada destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego de veículos sobre a qual se construirá o revestimento. Tal como as camadas de sub-bases, também podem desempenhar um importante papel na drenagem subsuperficial dos pavimentos (Balbo, 2007);

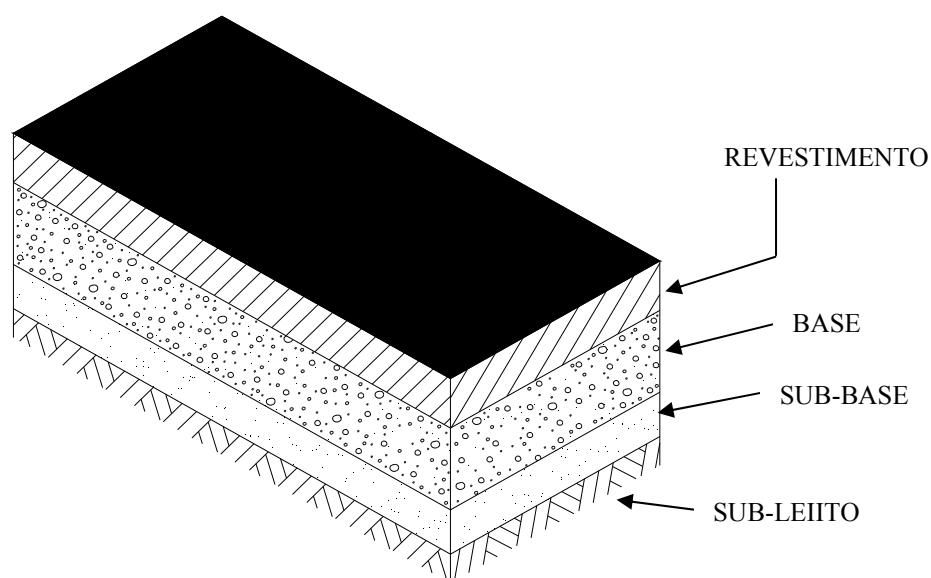


Figura 2.1 - Componente de um Pavimento Flexível
(Fonseca, 1990)

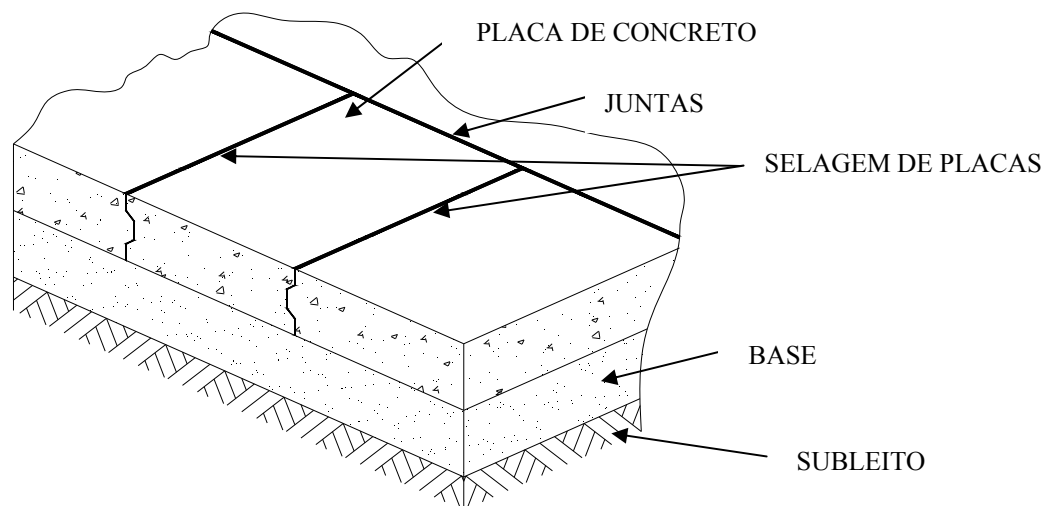
Revestimento: camada superior construída para resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas subjacentes, impermeabilizar o pavimento e melhorar as condições de rolamento, ou seja, conforto e segurança (Bernucci et al., 2007).

2.4.2 Camadas dos Pavimentos Rígidos

Placas de concreto: são constituídas de concreto cimento Portland, atuando como suporte estrutural e como elemento impermeabilizante. Fornecem “também muito boa resistência à derrapagem desempenhando a função de revestimento;

Base: camada destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego de veículos sobre a qual se construirá o revestimento. Tem como objetivo evitar o bombeamento dos solos do subleito;

Sub-base: camada corretiva do subleito, ou complementar à base. Deve ser usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o subleito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. Pode ser usado para reduzir a espessura da base; Nos pavimentos rígidos, também são feitas as operações de regularização do subleito e reforço, quando necessário.



**Figura 2.2 - Componente de um Pavimento Rígido
(Fonseca, 1990).**

2.5 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO

Os pavimentos estão sujeitos a um processo de degradação estrutural contínuo desde a sua abertura ao tráfego (Gonçalves, 1998).

São estruturas que, em geral, não apresentam ruptura súbita mas, sim, deterioração funcional e estrutural, acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego (Bernucci et. al. 2007).

O processo de degradação das estruturas é acionado pela ação repetida das cargas de serviço, das intempéries e pelas alterações físicas e químicas dos materiais, de modo que todas as estruturas sofrem um processo gradual de deterioração de seus componentes físicos, resultando em redução de sua serventia (perda de funcionalidade) ao longo do tempo (Rodrigues, 2001).

A grande exposição dos pavimentos aos agentes climáticos e o modo de utilização pelas cargas do tráfego, tendem a acelerar a sua deterioração (Rodrigues, 2001).

Os mecanismos de deterioração podem ser classificados em dois grandes blocos: ruptura por resistência e danificação por fadiga.

O fenômeno da fadiga relaciona-se às sucessivas solicitações dos materiais em níveis de tensão inferiores àqueles de ruptura, mas que, gradativamente, desenvolvem alterações em sua estrutura interna, resultando na perda das características físicas originais. Esse fenômeno gera progressivo processo de micro fissuração, culminando com o desenvolvimento de fraturas e conseqüentemente o rompimento do material (Balbo, 2007).

Desse modo, os níveis de deformação aplicados isoladamente ao material não são suficientes para causar ruptura instantânea, no entanto, cada deformação aplicada de forma cíclica vai causando o acúmulo de zonas de plastificação que, ao longo da vida da estrutura do pavimento, acabam definindo planos de fraturas e descontinuidades, prejudicando as respostas previstas em projeto (Balbo, 2007).

A ruptura de pavimentos também pode ser proveniente de projetos inadequados, processos construtivos incorretos ou controle tecnológico deficiente (DNIT, 2006).

Os materiais de pavimentação, desde que compactados ou vibrados, apresentam resistências características a determinados tipos de esforços, caso um esforço solicitante em algum ponto da estrutura de pavimento supere o valor da resistência específica do material com relação àquele esforço (sobrecarga), ocorrerá a sua ruptura por resistência (Balbo, 2007).

O direcionamento e extensão da fissura para a superfície do pavimento criam zona de descontinuidade transversal no material ao longo da camada, isso implica na perda da capacidade de deformação elástica, portanto, perda da capacidade de suporte do material.

Os defeitos ocorrem tanto em pavimentos rígidos como em pavimentos flexíveis e também podem ser causados ou acelerados pela presença de umidade excessiva na estrutura do pavimento. Nos pavimentos flexíveis, os tipos de defeitos provenientes ou acelerados por este fator incluem afundamentos plásticos. Nos pavimentos rígidos, destacam-se: bombeamento, deterioração de juntas, degraus e quebras de canto, perdas de suporte por recalque de fundação resultando em degraus, movimentação vertical de placas, esborcinamento de juntas, bombeamento de finos da base, empenamento de placas, quebras localizadas causadas por vazios na camada de suporte, trincas e fissuras, dentre outros.

Segundo Rodrigues (2001), os mecanismos de deterioração poderão ser controlados ou ao menos atenuados pela especificação correta dos materiais, pelo bom dimensionamento estrutural e pela própria concepção da estrutura.

2.6 PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Os pavimentos aeroportuários são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves e permitir o adequado deslocamento delas nas denominadas áreas de movimento dos aeroportos, o que significa fazê-lo com segurança, conforto e eficiência de fluxo. Eles devem apresentar bom desempenho e resistir às intempéries e ao impacto dos gases do escoamento dos motores à reação, produzir superfície firme, estável, regular, livre de poeira ou de outras partículas que possam ser expelidas ou captadas pelo deslocamento de ar, tanto o natural quanto o produzido pela hélice ou pelo jato de uma aeronave e, essencialmente, superfícies não escorregadias diante de quaisquer condições meteorológicas adversas (FAA, 1995).

Pavimentos de aeródromos e de rodovias têm alguns pontos em comum, dentro dos princípios gerais que se aplicam a ambos. Porém, várias distinções fundamentais existem entre os dois tipos de pavimento. Destaca-se entre elas a magnitude de carga aplicada, pressão e largura de pneus, configuração dos trens de pouso, posicionamento do centro de gravidade da aeronave, seção geométrica e estrutura do pavimento e número de repetições de carga aplicada ao pavimento (Yoder, 1975).

De modo geral, assim como nas rodovias, os pavimentos de aeroportos também podem ser classificados como rígidos e flexíveis (Fonseca, 1990).

Geralmente ocorrem várias combinações de tipos de pavimentos e camadas estabilizadoras, recapeamentos betuminosos e rígidos (*overlays*) que resultam em complexos pavimentos os quais, no entanto, continuam podendo ser classificados em rígidos e flexíveis (FAA, 1995).

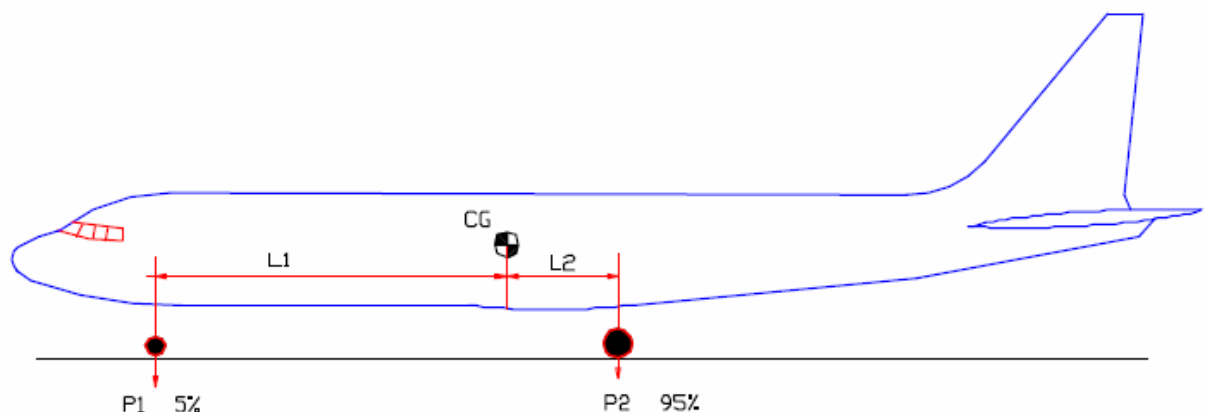
A escolha do tipo de pavimento a ser utilizado nas diversas áreas que compõem os sistemas de pistas e pátios de um aeroporto leva em consideração razões de ordem técnica e econômica. Desse modo, como filosofia de projeto, a tendência em aeroportos é usar pavimento flexível nas áreas destinadas ao pouso e ao rolamento das aeronaves, ou seja, pistas de pouso e decolagem e pistas de táxi e, devido a uma maior resistência química do concreto-cimento aos combustíveis, óleos e lubrificantes, geralmente usa-se pavimento rígido nas áreas de hangares e de estacionamento das aeronaves (Fonseca, 1990).

2.6.1 Fatores que Influenciam Projetos de Pavimentos Aeroportuários

A pesquisa sobre a aplicação de novas tecnologias ao pavimento aeroportuário exige, para a análise do processo, o claro conhecimento dos diversos elementos e fatores atuando e influenciando a construção, operação e manutenção referentes às pistas de rolamento, ou seja, às estruturas denominadas genericamente como área de movimento dos aeroportos. O pavimento de pistas de pouso e táxi, além dos pátios de estacionamentos de aeronaves, juntamente com as aeronaves em operação, representa sistema interativo que deve ser conhecido no processo de projeto do pavimento. Para que seja produzida uma configuração satisfatória dessa estrutura, certas condições ligadas à aeronave e ao pavimento devem ser observadas (FAA, 1995).

O projeto estrutural de pavimentos para aeroportos consiste na determinação tanto da espessura global do pavimento, quanto da espessura de suas partes componentes. Vários fatores influenciam na determinação da espessura total e na das camadas componentes para que o pavimento forneça um serviço satisfatório. Esses fatores incluem a intensidade das cargas a serem transportadas, a quantidade de movimentos e a concentração de rolagem das aeronaves em determinadas áreas da pista como os pontos de giro e o usual de toque no pouso, além da qualidade do solo do subleito e dos materiais que compõem a estrutura do pavimento (FAA, 1995).

O método de projeto baseia-se no peso bruto da aeronave. Em termos de cálculo, o pavimento deve ser projetado para o peso máximo de decolagem (PMD) ou o peso de rampa, definido como aquele acrescido do peso do combustível a ser consumido no deslocamento de táxi até a cabeceira da pista. Para a confecção do projeto, considera-se a repartição usual de esforço em que 95% do peso bruto é transmitido pelo conjunto do trem de pouso principal e a parcela de 5% deste peso é transmitida pelo trem localizado na bequilha, ou seja, o conjunto de rodas dianteiras da aeronave (Roehrs, 2002).



**Figura 2.3 - Distribuição Usual das Cargas por Trem de Pouso
(Roehrs, 2002).**

O tipo e a configuração geométrica do conjunto do trem de pouso e além de suas rodas e pneumáticos determinam a função da distribuição do peso da aeronave no pavimento e as espessuras tanto de pavimento flexível como rígido. A influência desse fator é bem perceptível quando se observa que o A380, com suas 22 rodas bem configuradas, têm muito melhores condições de carregamento sobre o pavimento, malgrado suas 590 toneladas, do que

os B747 de 439,9 toneladas e os MD11 (283 t), de menor peso máximo de decolagem, muito mais exigentes por transmitirem esforços mais acentuados de cada roda ao pavimento.

Diante das várias configurações e demais características dos trens de pouso, houve a necessidade de se criar número índice que representasse de modo prático o efeito das aeronaves no pavimento, o ACN (*Aircraft Classification Number*).

Para o cálculo do ACN, parte-se da configuração mais crítica da aeronave que pode ser calculado por processo iterativo, através de programa computacional, tendo como dados de entrada:

- As cargas por roda no trem de pouso principal;
- A configuração geométrica do trem de pouso;
- A pressão dos pneus.

Essas características representam o efeito do trem de pouso no pavimento para a aeronave em estudo (Roehrs, 2002).

O volume do tráfego, ou seja, a frequência dos movimentos é outro dado indispensável para se projetar determinado pavimento. É necessária obtenção das previsões do número de decolagens ou pousos anuais por tipo de aeronaves que resultará em listar diferentes tipos e modelos. A aeronave a ser considerada como referência ou de projeto deve ser selecionada com base naquela que requer maior resistência de pavimento (Fortes, 1999).

Ou seja, as exigências para a elaboração de projeto de pavimento constituem um complexo problema de engenharia. Pavimentos estão sujeitos à grande variedade de cargas e de efeitos climáticos e seu projeto envolve grande número de variáveis em interação que, às vezes, são de complexa quantificação.

Outros fatores como o rápido desenvolvimento das aeronaves à reação tiveram um efeito profundo nos conceitos de projetos de pavimentos aeroportuários. Em contraste com os projetistas de rodovias que têm em mente o efeito de tráfego veicular no pavimento, os projetos de aeródromos envolvem um estudo do efeito do pavimento na aeronave, como

também o efeito da aeronave no pavimento, uma vez que motores à reação podem ser facilmente danificados por escombros sugados na entrada de ar, dependendo da eficiência dos dispositivos de proteção de que disponham. Assim muitas pesquisas também englobaram os projetos de acostamentos e áreas adjacentes ao longo e ao final da pista, de modo a projetá-los resistentes à erosão motivada pelo impacto causado pelos gases de descarga dos motores, expelidos em alta velocidade e com massa considerável (Yoder, 1975).

A elaboração de projeto e a avaliação de pavimentos aeroportuários exigem que entre os fatores considerados como de fundamental importância sejam incluídos o efeito do tráfego, para um tipo de aeronave em particular selecionada como de projeto, a configuração dos trens de pouso, o espaçamento entre pneus e a respectiva largura e diâmetro, cargas de roda, pressão de pneus e outros fatores não tão grande relevância, inter alia, declividade, vento predominante, cabeceira de pista usual, trajetória no táxi (Rada, 1991).

A aplicação de cargas maiores que as definidas nos projetos ou nas avaliações reduzem a vida útil dos pavimentos, cujos altos investimentos, antes de qualquer previsão realizada, têm como base o ciclo de vida (Roehrs, 2002).

2.6.2 Resistência dos Pavimentos Aeroportuários

Questões acerca do efeito da sobrecarga nos pavimentos tornaram-se umas das maiores inquietudes dos administradores de redes pavimentadas. Segundo esse mesmo autor, para os pavimentos rígidos o acréscimo rotineiro de sobrecarga da ordem de 10%, tende a reduzir a vida de serviço em 60% a 70%. Para os pavimentos flexíveis, que tendem a resistir melhor ao aumento de carga, operações rotineiras com acréscimo de 10% reduzem a vida de serviço cerca de 40%. No entanto, acréscimos da ordem de 50% nas cargas provocam uma redução em torno de 80% a 90%.

Com tantos fatores influenciando sobre a resistência dos pavimentos, a evolução tecnológica os simplificou, utilizando o número índice PCN (Pavement Classification Number) para expressar a capacidade estrutural de resistência de modo prático e de aplicação imediata. Ele representa todos os fatores criteriosamente selecionados como contribuintes, entre os quais: tipo de pavimento; suporte do subleito; pressão de pneus; complementados por informações relevantes para uso operacional.

Exemplo do emprego dessa técnica, aplicada como padrão em todos os aeroportos brasileiros é o de PCN da pista 06/24 – Aeroporto Internacional de Belém, ASPH 65 F/B/X/T:

- ASPH: tipo de revestimento;
- 65: número de classificação do pavimento (PCN), relacionado à resistência para número irrestrito de operações;
- F: tipo de pavimento – F para flexível e R para rígido;
- B: suporte do subleito representado pelo $CBR_{\text{médio}}$ entre 8 e 13;
- X: a máxima pressão de pneus admissível, neste caso, indeterminada;
- T: o método adotado para avaliação do pavimento – T para técnica.

O PCN é determinado para a máxima carga admissível no pavimento e deve levar em consideração fatores tais que representem a frequência de operações, a tensão e a deformação admissíveis no pavimento (Alexander, 1991).

Se o PCN for muito conservador, pode restringir as operações de aeronaves maiores, com prejuízos aos usuários e aos operadores. Por outro lado, se for considerado mais elevado do que o real, poderá acelerar a deterioração do pavimento, devido à sobrecarga decorrente da operação de aeronaves mais pesadas do que o limite devido (Roehrs, 2002).

Com o objetivo de padronizar a notificação das resistências das pistas de pouso e decolagem e pátios de estacionamento de aeronaves dos aeroportos nas Publicações de Informações Aeronáuticas (AIP), em 1983, a OACI instituiu o sistema ACN/PCN pelo documento *Aerodrome Design Manual – Part 3* (Roehrs, 2002).

“O método torna possível expressar o efeito individual de uma aeronave sobre diferentes pavimentos através de um único número, que varia de acordo com o peso e a configuração da aeronave (tipo de trem-de-pouso, pressão de pneus, entre outros), o tipo de pavimento e a resistência do subleito. Esse número é chamado número de classificação de aeronaves (ACN).

Por outro lado, a capacidade de carga de um pavimento também pode ser expressa por um único número sem especificar uma aeronave em particular ou informações detalhadas sobre o

pavimento. Esse número é chamado número de classificação do pavimento (PCN)” (ANAC, 2008).

Em retrospecto, pode-se resumir que:

- O ACN (*Aircraft Classification Number*) é definido como um número que expressa o efeito relativo de uma aeronave com uma determinada carga sobre o pavimento, para uma categoria padrão de subleito especificado (ANAC, 2008);
- O PCN (*Pavement Classification Number*) é o número que expressa a capacidade de suporte do pavimento para operações sem restrições (ANAC, 2008);
- O método prático de operação correlaciona um número que expressa o efeito da aeronave no pavimento (ACN) ao número que expressa a capacidade de suporte do pavimento (PCN), sem referenciar-se à configuração do trem de pouso (Roehrs, 2002). Essa correlação é possível porque os valores do PCN e ACN são calculados usando a mesma base técnica (ANAC, 2008).

A limitação do método ACN/PCN é a de que ele não pode ser utilizado para elaboração de projetos ou avaliação de pavimentos; seu único objetivo é a difusão de dados sobre a capacidade de resistência dos pavimentos de forma a subsidiar a decisão dos administradores de aeroportos quanto à possibilidade de autorizar ou não a uma aeronave a pousar em determinada pista (IAC 157_1001, ANAC, 2008).

Na ocasião da divulgação do método, a OACI publicou uma lista contendo os ACN das aeronaves mais frequentemente utilizadas, correlacionando-os com as quatro classes de subleito padronizadas. (Roehrs, 2002).

Segundo o autor, posteriormente à divulgação do método ACN/PCN, os fabricantes de aeronaves passaram a calcular os ACNs das suas aeronaves e apresentá-los nos manuais e gráficos, permitindo a obtenção direta do ACN a partir de qualquer peso operacional.

O Número de Classificação do Pavimento (PCN) pode ser determinado de duas formas: pelo método experimental ou pelo método de avaliação técnica, que consistem respectivamente em: determinação do PCN, adotando o valor do ACN da aeronave mais crítica em operação

regular em um determinado aeroporto que demonstre não estar danificando o pavimento de forma significativa, ou então calculando-o por meio dos mesmos princípios para dimensionamento de pavimentos. Utilizando fatores como frequência de operações e níveis de tensão admissíveis, obtém-se a carga bruta pelo processo inverso do dimensionamento. Uma vez obtida a carga admissível, identifica-se a aeronave que representa a carga admissível e adota-se esse valor como o PCN do pavimento (ANAC, 2008).

A OACI deixou sob a responsabilidade de cada Estado signatário a avaliação da capacidade de suporte (PCN) dos sistemas de pistas e pátios dos aeroportos, sendo livre a escolha do método de avaliação: experimental ou técnico. No entanto, determinou que, uma vez definido e notificado o PCN de um pavimento, as aeronaves com ACN inferior ou igual poderiam utilizá-lo sem restrições de peso ou número de operações (Roehrs, 2002).

Apesar da permissão para que o PCN fosse publicado pelo método experimental, a OACI recomendava que fosse realizada avaliação técnica, consistindo na realização de estudo específico das características do pavimento, com a aplicação da tecnologia do comportamento dos pavimentos (Roehrs, 2002).

A Segurança é vital para o modal aéreo, de modo que as aeronaves não podem transgredir, senão em condições excepcionais, o limite da carga máxima estabelecida em função da estrutura do avião, das condições de operação das pistas (método ACN/PCN) e das etapas de voo (Yoder, 1975).

Toda essa discussão trouxe à tona a necessidade fundamental de avaliar regularmente e sistematicamente as condições do pavimento e também estabelecer os critérios para liberação das operações com sobrecarga, pois comprovadamente a repetição excessiva de sobrecargas pode reduzir drasticamente a vida útil do pavimento ou exigir um grande trabalho de recuperação do mesmo com altos custos até então imprevisíveis. Desse modo, reduções ou aumentos de PCN são possíveis de ocorrer rotineiramente em função da variação do comportamento do pavimento e das características das aeronaves.

2.6.3 Evolução da Frota de Aeronaves

O peso das primeiras aeronaves que entraram em operação permitia que fossem construídos pavimentos de aeródromo usando as mesmas espessuras que eram usadas para rodovias e, em geral, poderiam ser usados conceitos de projetos de rodovias para aeródromos. Porém, com a evolução da frota aeronáutica, esse procedimento tornou-se inadmissível em vista da divergência extrema entre as cargas aplicadas nos dois tipos de pavimentos (Yoder, 1975).

Em 1958, a FAA adotou a política de limitação de escopo para a participação federal nos estudos de pavimentos de aeroportos, restringindo-se a uma seção de corte transversal de pavimento destinada a servir às operações de aeronaves com PMD de 350.000 lb (159.000 kg), com a configuração de trem de pouso do DC-8-50. O objetivo de tal política era assegurar que no futuro as aeronaves fossem equipadas com trens de pouso que não causassem uma tensão no pavimento superior à causada por essa aeronave de 350.000 lb. Os fabricantes de aviões aceitaram e seguiram a política de 1958, projetando trens de pouso conforme essa política, embora, como já observado, o peso bruto tenha excedido bastante as 350.000 lb., ou seja, 159 t (FAA, 1995).

O fato é que o peso bruto, as cargas de roda e pressões dos pneus das aeronaves aumentaram muito nos últimos anos.

O Quadro 2.1 apresenta os dados que demonstram a evolução dos pesos das aeronaves desde o DC-3 até o gigante A380.

Quadro 2.1 – Evolução das Aeronaves

Tipo de Aeronave	Ano de entrada em	Velocidade de cruzeiro	Carga paga Máxima	Peso Máximo	Máximo Número de Passageiros	Produtividade horária
<i>Piston Pistão</i>						
DC-3	1936	282	2.7	12.700	21-28	0.5
Lockheed	1952	499	1.0	17678	47-94	3.8
<i>Turbo-propeller; Turbo hélice</i>						
Viscount 700	1953	523	5.9	32.866	40-53	2.2
Britannia 310	1956	571	15.6	84.000	52-133	6.2
<i>Turbo-jet – short haul Jatos de curto alcance</i>						
Caravelle VI	1959	816	8.3	46.000	52-94	4.7
Airbus A300	1974	891	31.8	170.000	245	19.8
Airbus A320	1988	834	20.4	73.500	179	11.9
<i>Turbo-jet – long haul Jatos de longo alcance</i>						
Boeing 720B	1960	883	18.7	106.140	115-49	11.6
Douglas DC-	1968	935	30.6	147.415	259	20.0
Boeing 747-	1969	908	49.5	272.155	430	31.5
Boeing 747-	1983	908	68.6	351.535	420	43.6
Boeing 777-	1995	869	55.1	286.897	305	33.5
Airbus A380	2007	882	85.0	590.000	555	52.5

Fonte: Sérgio Varela (Gestão da Aviação Civil, 2007)

As alterações do tipo e volume de tráfego de planejamento ou de projeto são fatores essenciais para a avaliação da capacidade de suporte dos pavimentos aeroportuários (FAA, 1995).

Nas recomendações do Anexo 14 à Convenção da OACI, encontram-se considerações quanto à capacidade do pavimento de suportar eventuais sobrecargas, tendo em vista que o mesmo é projetado para suportar uma carga definível para um número esperado de repetições durante sua vida útil projetada. Essas considerações incluem a ressalva de que uma pequena sobrecarga ocasional é aceitável apenas com a perda limitada da sua expectativa de vida útil e a aceleração relativamente pequena da deterioração do pavimento. Essa tolerância lança mais

responsabilidade sobre o processo decisório da gestão de pavimentos, tornando-a também mais complexa e exigente.

2.6.4 Manutenção de Pavimentos

À vista da evolução tecnológica e da sobrecarga dos pavimentos em geral, cuidadoso controle dos materiais e das técnicas construtivas adotadas passaram a ter requisitos de muito maior rigor na construção. Do mesmo modo, reformulação dos requisitos dos planos de manutenção determinou exigências mais cuidadosas para produzir e assegurar ao pavimento que a vida útil do pavimento coincida com a projetada. Construções mal feitas aliadas à falta de manutenção preventiva, geralmente implicarão em desempenho inferior, mesmo quando se tratar de projeto bem elaborado (FAA, 1995).

Os custos de manutenção dependem do potencial de evolução das irregularidades do pavimento, tais como trincas ou afundamentos de trilha. O potencial de evolução de defeitos dos pavimentos está relacionado ao tipo de estrutura do pavimento que, por sua vez, está ligada aos custos de construção.

Pavimentos têm ciclo de vida e são construídos com previsão para durar certo tempo. Por isso, necessitam de ações de manutenções periódicas para desempenhar adequadamente suas funções. As manutenções preventivas são fundamentais para que os pavimentos desempenhem plenamente a função em acordo com os objetivos e requisitos para os quais foram construídos (Rocha Filho, 1998).

Entre os diversos organismos cuidando do assunto, merece destaque mundial a FAA que define manutenção de pavimentos aeroportuários como sendo o conjunto de medidas destinadas a conservar ou a melhorar o nível de serviço dos pavimentos face às demandas das operações a que são submetidos.

As atividades sistêmicas de manutenção prolongam a vida útil do pavimento, evitam a deterioração acelerada e previnem contra dispendiosos serviços de recuperação (Fonseca, 1990).

Comprovadamente cargas mais pesadas ocorrem nas pistas de aeródromos. Portanto, vistorias constantes devem ser efetuadas por pessoas qualificadas, para elaborar o cronograma de atividades periódicas e programar a execução dos reparos de forma sistemática (Medina, 1997).

As manutenções preventivas dos pavimentos das pistas de pouso e decolagem dos aeroportos devem ser compostas de ações de avaliação contínua da condição funcional e dos indicadores de segurança de uma pista. A resistência à derrapagem em pista molhada pode ser medida com o μ -meter, equipamento que fornece o coeficiente de atrito, da macrotextura por meio do ensaio da mancha de areia e da microtextura, os quais influem diretamente no risco de ocorrência da hidroplanagem (Rodrigues, 2001).

Segundo Gonçalves (1999), para a elaboração de um diagnóstico confiável a partir das avaliações das estruturas dos pavimentos, é necessário aplicar-se uma série de modelos de previsão de desempenho do tipo mecanístico empírico às condições de cada subtrecho homogêneo, a fim de se comparar suas previsões com o desempenho real observado. Informações confiáveis quanto à idade do pavimento e ao histórico do tráfego atuante são cruciais para que essa comparação tenha significado. O resultado dessa análise será:

- Esclarecimento do mecanismo de degradação predominante;
- A seleção do modelo de previsão de desempenho mais apropriado à realidade de uso do pavimento;
- A calibração do modelo, para se dimensionar o pavimento restaurado.

Identificar os mecanismos que vêm afetando o desempenho de um pavimento requer a ponderação relativa dos efeitos das duas fontes de solicitações mecânicas:

- Clima, na forma de variações de temperatura e de umidade;
- Tráfego, seja pela degradação estrutural gerada pelas tensões aplicadas pelos veículos de carga, seja pelo desgaste da superfície produzido pela passagem de todos os tipos de aeronaves.

A estas duas ações externas devem-se opor as condições intrínsecas do pavimento, especialmente:

- As propriedades dos materiais das camadas (natureza, compactação, técnicas construtivas);
- As condições de drenagem, superficial e profunda;
- A estrutura do pavimento existente.

Desse modo, o objetivo desta parte do trabalho de pesquisa foi examinar resumidamente, mas sem perda do conteúdo essencial, os fatores relacionados à previsão de funcionamento dos pavimentos em função do comportamento desses diversos fatores como meio de apoio e entendimento à análise da introdução de novas tecnologias para planejamento, projeto, avaliação, manutenção e gerenciamento de pavimentos.

3 GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

3.1 INTRODUÇÃO

A gerência de pavimentos compreende o conjunto de atividades técnicas da gestão aeroportuária. Ela inclui o planejamento, a programação dos investimentos, as obras de manutenção e a avaliação periódica dos pavimentos de modo sistemático. Tem como principal objetivo prover a aplicação racional dos recursos disponíveis, tendo como fatores externos e condicionantes as aplicações dos recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas (Visconti, 2000).

As organizações administradoras de redes pavimentadas, seja rodoviária, aeroportuária ou urbana, podem desenvolver as atividades de manutenção e melhoria das condições operacionais de sua rede de diversas formas, que vão desde a execução dispersa das diversas atividades por setores com pouca ou nenhuma interconexão, até a adoção de um Sistema de Gerência de Pavimentos integrada e automatizada, que englobe o conjunto de procedimentos e metodologias destinadas a assegurar a execução coordenada de todas as atividades relacionadas à manutenção e melhoria dos pavimentos da rede (Rodrigues, 2001).

3.2 POR QUE GERENCIAR PAVIMENTOS?

Pavimentos, como qualquer obra de engenharia, estão sujeitos a constante processo de deterioração. A Figura 3.1, demonstra o fato inquestionável que após determinado período de uso, a condição do estado do pavimento tende a cair acentuadamente de qualidade e propriedades em intervalo de tempo relativamente curto (Rocha Filho, 1998).

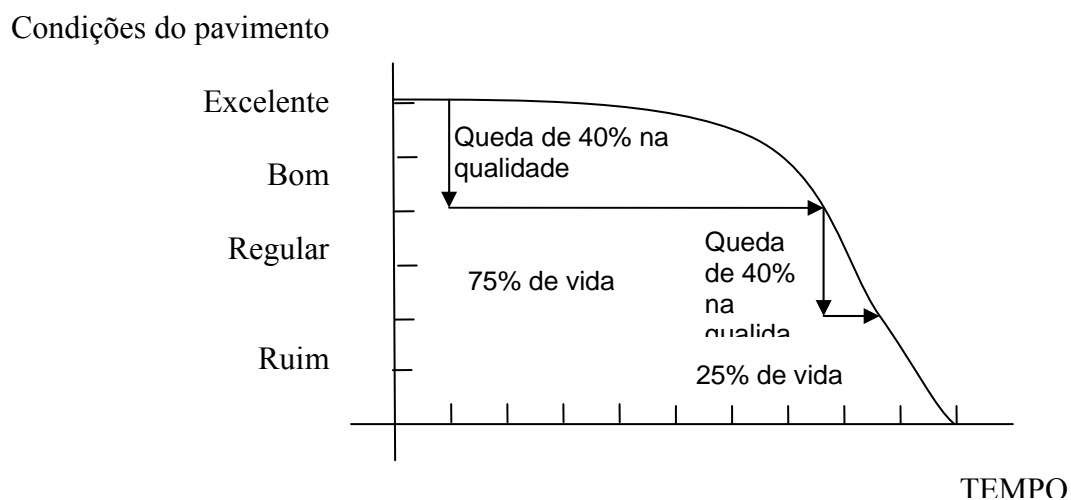


Figura 3.1 - Típico Ciclo de Vida das Condições de um Pavimento
(Rocha Filho, 1998)

A Figura 3.2 apresentada demonstra com clareza como o retardamento nos serviços de manutenção pode levar à necessidade de vultosos gastos de restauração, da ordem de quatro a cinco vezes mais caras (Rocha Filho, 1998).

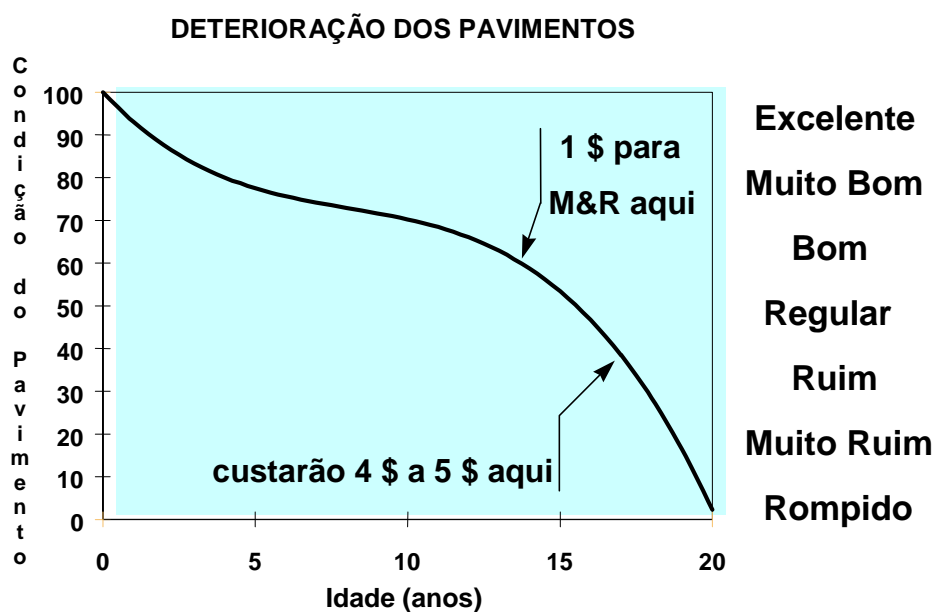


Figura 3.2 - O Processo de Deterioração dos Pavimentos
(Rocha Filho, 1998)

3.3 BENEFÍCIOS DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS – SGP

A análise da aplicação de tecnologia adequada e no estado da arte no que concerne a pavimentos exige o exame cuidadoso das condições em que deve ser inserido o Sistema de Gerenciamento de Pavimentos – SGP, pois ele será responsável por tarefa das mais complexas, ou seja, a atualização tecnológica e ação de manutenção de adequadas condições do pavimento em termos de atividade permanente. SGP constitui-se em um meio de organizar, coordenar e controlar todas as atividades que possam estar relacionadas à economia e ao desempenho dos pavimentos. A diferença é fortemente sentida quando da implantação da gerência de pavimentos que consiste nitidamente em imprimir orientação objetiva e eficaz às várias atividades envolvidas na manutenção de pavimentos atendendo aos padrões aceitáveis e compatíveis com um Sistema de Gerência de Pavimentos organizado. Além disso, criar-se-á a função de controle, promovendo o ordenamento e aquisição de documentação e informações necessárias a cada uma das tarefas programadas componentes tornando-as formais, ao mesmo tempo em que são tratadas de modo coordenado, sistemático e objetivo, favorecendo o processo de retroalimentação entre elas (Rodrigues, 2001).

A utilização de sistema gerencial de pavimentos traz benefícios aos usuários e à administração em seus diversos níveis, pois sistemas gerenciais promovem maior coordenação entre os setores das organizações e favorecem as atividades de treinamento e aperfeiçoamento de pessoal (Visconti, 2000).

O SGP pode ser caracterizado como o conjunto de ferramentas que ajuda o gestor da rede a determinar as estratégias mais econômicas que permitam manter os pavimentos em condições de disponibilidade e sob padrões aceitáveis de utilização. Tem como objetivo a obtenção, através da aplicação de processos estruturados e sistemáticos, de maior benefício para distribuição dos recursos de cada setor, nos dois níveis: Nível da Rede e Nível de Projeto (Ferreira & Picado, 2002).

Para o SGP em nível de rede aeroportuária, é importante identificar o nível de detalhamento necessário para o objetivo a que se presta que é o de subsidiar a alta administração das redes de pavimentos visando a definir as estratégias para a aplicação de recursos de modo racional. O esquema constante da Figura 3.3 relaciona graus de detalhamento de informações e complexidade de modelos com o tamanho da rede a gerenciar.

“A faixa diagonal denota o grau de enfoque que normalmente deve ser perseguido”, com base nessa filosofia devem-se analisar os procedimentos a serem adotados de maneira a racionalizar recursos nas atividades de avaliação de pavimentos (Fonseca, 1998).

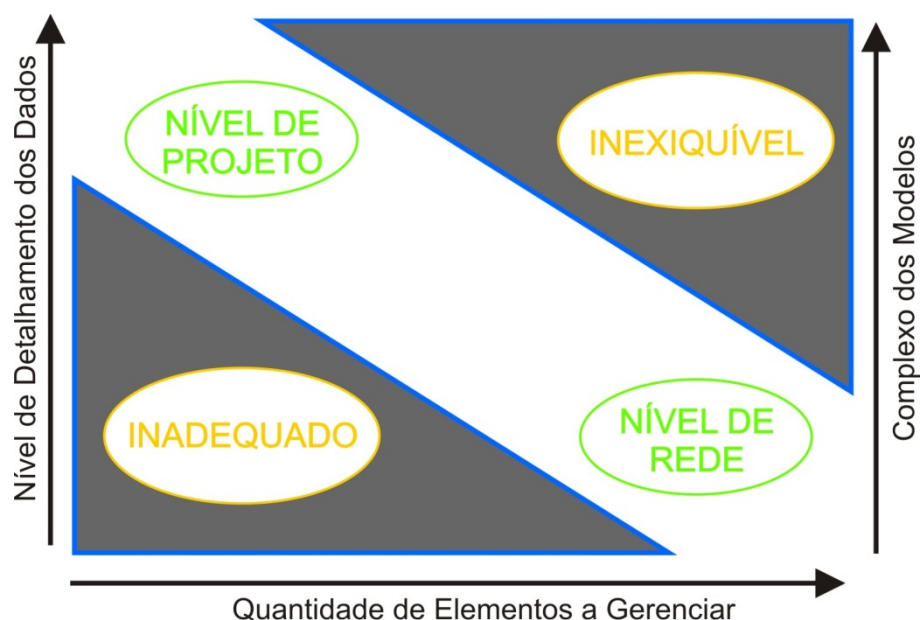


Figura 3.3 – Relações de Complexidade de Modelos e Detalhamento de Informações em Gerência de Pavimentos (Hudson apud Fonseca, 1998).

Rodrigues (2001) apresenta na Quadro 3.1 as principais atividades ou decisões a serem tomadas em um SGP completo e operacional nos dois níveis administrativos: em nível de rede e em nível de projeto. Segundo o autor, essa estrutura possibilita que as organizações avaliem até que ponto os seus próprios recursos, suas bases de dados e seus procedimentos vigentes preenchem os requisitos para um SGP completo. Além disso, constitui base para o desenvolvimento, por etapas, de um SGP e do seu plano de implantação. O autor recomenda que a estrutura genérica indicada seja aplicada e permaneça estável, de modo a contribuir para identificação de necessidades de aperfeiçoamento tecnológico e avaliação dos benéficos desse aperfeiçoamento.

**Quadro 3.1 – Principais Atividades e Decisões Dentro de um SGP Completo
(Rodrigues, 2001)**

Atividades básicas	Gerência em rede	Gerência em projeto
Dados	1- Segmentos homogêneos. 2- Dados: (a) Inventário de campo: irregularidades, deterioração de superfície, atrito, deflexão, geometria; (b) Outros: Tráfego, custos unitários. 3- Processamento de Dados.	1-Dados detalhados (estruturais, de materiais, tráfego, clima e de custos unitários). 2- Subtrechos homogêneos. 3- Processamento de dados.
Critérios para limites	1- Mínimos: serventia, atrito, adequação estrutural, máxima deterioração. 2- Custos máximos: do usuário e de conservação. 3- Custos máximos para os programas de obras. 4- Critérios de Seleção (benefícios máximos e máxima eficácia dos investimentos).	1-Máxima irregularidade após construção; mínima adequação estrutural e atrito. 2- Custos máximos para o projeto. 3 – Interrupção máxima permitida do tráfego. 4- Critérios de seleção (como menores custos totais).
Análises	1- Necessidades atuais da rede. 2- Previsões de desempenho e necessidades futuras. 3- Alternativas de conservação e restauração. 4- Avaliação técnica e econômica. 5- Análise para priorização. 6- Avaliação de níveis orçamentários alternativos.	1- Alternativas inerentes ao projeto. 2- Análise técnicas (previsão de desempenho e de deterioração). 3 - Análises econômicas no ciclo de vida.
Seleção	1- Priorização final dos projetos de restauração e de construção. 2- Programação final das operações de conserva.	1- Melhor alternativa para o projeto (restauração ou reconstrução). 2- Medidas de conserva para diversas seções.
Implantação	1- Programação, contratos. 2 - Monitoração do programa. 3- Atualização do planejamento orçamentário e financeiro.	1- Atividades de construção, controle dos contratos e registro do andamento das obras. 2- Atividades de conserva, gerenciamento da conservação e registros associados.

“Mesmo que a gerência de pavimentos dentro de uma organização seja realizada por processos que não atendam à estrutura de um SGP completo e operacional, ainda assim promovem benefícios enquanto os técnicos e administradores envolvidos atuam imbuídos dos

conceitos e metodologias associados a um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos” (Rodrigues, 2001).

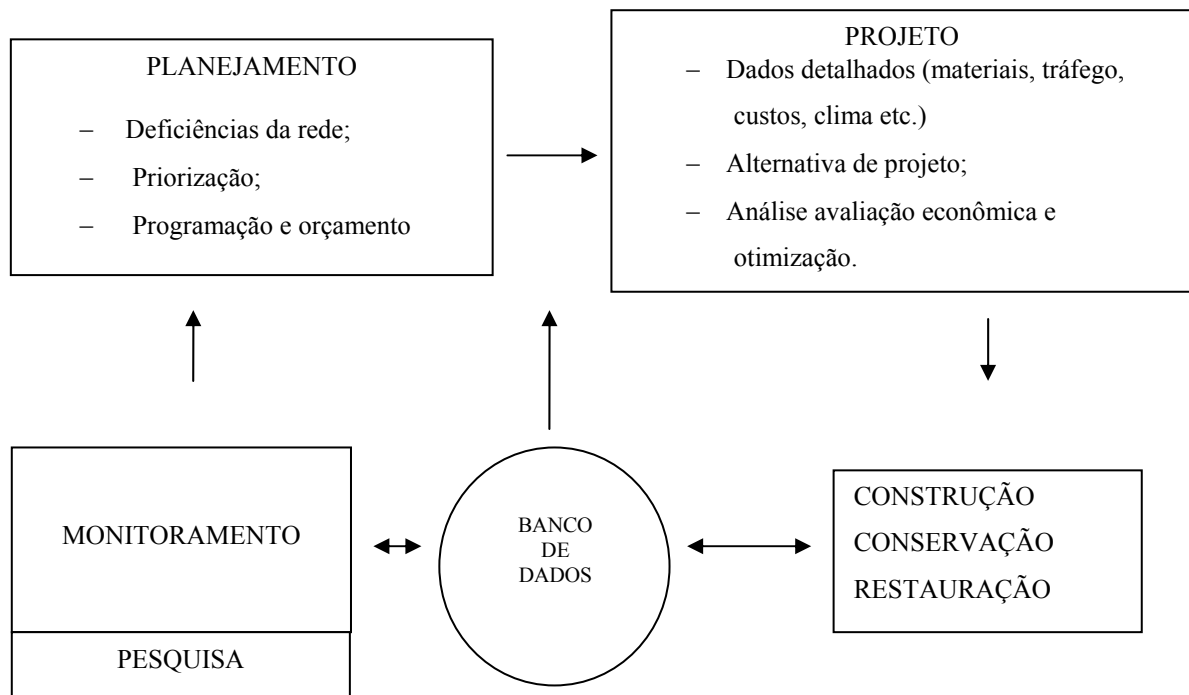


Figura 3.4 – SGP Completo e Operacional Alterado (Rodrigues, 2001)

A Figura 3.4 acima mostra o diagrama de blocos simplificado de um SGP completo e operacional, com seus subsistemas componentes.

De modo a examinar a possível implantação do sistema no país, faz-se necessário examinar como ele é constituído e como funcionam suas partes. Destacam-se no conjunto os subsistemas a seguir apresentados (Rodrigues, 2001):

PLANEJAMENTO

Este subsistema, também denominado SGP em nível de rede, analisa a rede como um todo, de modo a:

- Avaliar as conseqüências das estratégias de alocação de recursos;
- Identificar as implicações em termos de custos operacionais para a logística do transporte: (poder);
- Dispor de diferentes níveis de restrições orçamentárias para os anos seguintes;
- Priorizar as obras de construção ou manutenção a partir das restrições orçamentárias.

Essas atividades são executadas com base em dados suficientemente simplificados para que sejam disponíveis para toda a rede de forma atualizada a cada ano

PROJETO

Também denominado SGP em nível de projeto, é nesse subsistema que são elaborados os projetos executivos de engenharia para obras de restauração ou de construção de pavimentos. Tais projetos devem ser desenvolvidos tomando como restrição os valores alocados individualmente no SGP em nível de rede, buscando definir soluções técnicas adequadas e que atendam às restrições orçamentárias. Tem como finalidade básica o melhor aproveitamento dos recursos alocados, sendo primordial a realização de levantamento de dados detalhados a respeito da condição estrutural, funcional e de degradação dos pavimentos, bem como as características do tráfego atual e futuro e dos materiais disponíveis, de forma que as decisões sejam tomadas com base em diagnósticos suficientemente precisos dos problemas e do desempenho dos pavimentos. Obtendo-se como resultados a adoção de soluções técnicas que uniformizem o desempenho e maximizem a vida de serviço dos pavimentos restaurados.

CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO

Neste subsistema são materializados os projetos e as estratégias selecionados na fase de planejamento e detalhados na fase de projeto, incluindo a elaboração de termos de referência e cadernos de encargos, especificações mínimas para o processo de contratação, acompanhamento dos contratos, registro dos custos e inserção no banco de dados.

AValiação E MONITORAMENTO

Responsável pelo levantamento periódico de dados a respeito da condição dos pavimentos de determinada rede, a fim de permitir a atualização permanente do banco de dados para utilização nos demais subsistemas.

PESQUISA

Em se tratando do domínio tecnológico, o avanço das pesquisas dos novos métodos e equipamentos que devem ser incorporadas ao SGP é fundamental a fim de proporcionar boa base técnica, atualização do SGP e de qualquer dos subsistemas componentes. As pesquisas podem aprimorar: técnicas de avaliação de pavimentos, modelos de previsão de desempenho, materiais de construção, técnicas de conservação e de restauração, funcionamento do SGP e

interface com a estrutura organizacional, problemas específicos para o órgão administrados e para o usuário.

A aplicação prática do SGP ao longo dos anos em outros países demonstra que esses sistemas constituem o modo mais eficaz de se obter retorno dos investimentos, permitindo reconhecer os benefícios da enorme inversão de capitais em infra-estrutura representada pelos pavimentos (Rodrigues, 2001).

Segundo Rodrigues (2001), a AASHTO define que os objetivos específicos de um sistema de gerenciamento de pavimentos constituem-se em:

- Obter o melhor retorno para os recursos públicos disponíveis;
- Garantir sistema de transporte seguro, econômico e confortável;
- Aumentar a eficiência do processo de tomadas de decisão;
- Fornecer retroalimentação acerca das conseqüências das decisões tomadas;
- Assegurar consistência nas decisões, independentemente de onde e de quem toma essas decisões dentro da organização;
- Determinar a importância relativa de qualquer fator local que possa contribuir para a deterioração dos pavimentos.

Complementarmente à análise acima, permitindo antever as dificuldades em implantar o SGP no país, deve ser levada na devida conta a capacidade de auxiliar no processo decisório dos seus usuários institucionais, quando o SGP promove outros benefícios gerais para a administração aeroportuária (Patterson apud Rodrigues, 2001):

- Meio prestimoso para a segurança operacional dos aeroportos;
- Facilidade em controlar a manutenção da certificação do aeroporto;
- Sistema objetivo para tomada de decisões;
- Obtenção de informações técnicas acuradas e oportunas;
- Avaliação quantitativa da condição da rede;
- Obtenção de informações quanto ao desempenho dos pavimentos, que são utilizadas para se prever a condição futura da rede;
- Forma de avaliar diversas estratégias de restauração;

- Forma objetiva de julgar e classificar as necessidades da rede por prioridade;
- Base consistente para a alocação de recursos;
- Meio de analisar as consequências de diversos níveis orçamentários;
- Aumento na credibilidade da organização junto ao público e aos níveis superiores da administração;
- Transferência de tecnologia e valiosa retroalimentação que aperfeiçoam a tecnologia do projeto de pavimentos, da restauração, da conservação, dos materiais e da construção;
- Avaliação da deterioração dos pavimentos da rede causada por mudanças nas dimensões e nas cargas;
- Eliminação dos riscos de interdição de pistas e pátios para manutenção não programada;
- Maior conforto por assegurar condições ideais de rolamento de aeronaves no aeroporto;
- De forma geral, aumenta a capacidade das organizações monitorarem e aperfeiçoarem continuamente seus sistemas.

3.4 COMPONENTES BÁSICOS DE UM SGP

O Sistema de Gerenciamento de Pavimento é projetado para funcionar como ferramenta de planejamento estratégico da administração superior e como ferramenta de engenharia para os tomadores de decisões (Marcon, 2008).

A adoção do sistema, em qualquer país, cria ferramenta essencial para a gestão aeroportuária, principalmente quando os aeroportos estiverem formando rede operacional de infra-estrutura.

Os componentes básicos de funcionamento do SGP constituem-se em: coleta de dados; formação de base e banco de dados; modelo de previsão; critérios de decisão; geração de alternativas; saídas; retroalimentação; pesquisa e treinamento (Marcon, 2008).

Coleta de dados

Para o Brasil, deve constituir-se no componente essencial, pois eliminará a falta de aquisição e processamento de dados, além da edição de relatórios técnicos e gerenciais. Durante essa

etapa, é necessária a obtenção de dados objetivos, confiáveis e atualizados que são organizados por categorias: inventário, tráfego, condições do pavimento e custos. As informações necessárias para cada categoria de dados devem ser examinadas sob a ótica da boa utilização.

No inventário são levantados dados quanto às características do pavimento, sejam elas: localização; tipo de pavimento; classificação funcional; geometria transversal e longitudinal; materiais e espessuras das camadas; histórico de construção, conservação e restauração; condição de drenagem; sistema de referenciamento.

Com relação ao tráfego, analisam-se variáveis como: tipo, modelo e configuração de aeronaves, frequência de operação, classificação e cargas.

As condições do pavimento são obtidas através de avaliação funcional e estrutural que envolve identificação de irregularidades, degradação física, capacidade de suporte de carga e segurança.

A etapa custos envolve as informações dos valores estimados para construção, manutenção e reabilitação dos pavimentos.

O modelo de previsão é constituído pela descrição e determinação matemática dos valores esperados para uma determinada característica do pavimento, cujos resultados dependem da representatividade e acuidade dos dados (Marcon, 2008). A aplicação do modelo fornece aos administradores a capacidade de fazer projeções das necessidades futuras (Rodrigues, 2001).

Base e Bancos de Dados

Os dados são catalogados de forma organizada, compondo a base de dados que irá facilitar a obtenção, atualização e emprego de informações. Para a formatação do banco de dados do SGP, é essencial o uso de programas de computador, entretanto, alguns cuidados devem ser tomados ao escolher determinado programa, como por exemplo: compatibilidade e intercâmbio entre bases, capacidade de armazenamento e processamento de muitos dados, acesso rápido e controlado, flexibilidade para mudanças, facilidade de operação e entendimento e segurança garantida por senhas e funções de alteração (Marcon, 2008).

A Figura 3.5 ilustra as características das informações que podem compor o banco de dados.

Crítérios de Decisão

Dependem do tipo de pavimento e do padrão de qualidade estabelecido para a rede. Com base nesse padrão, são definidos os valores limites para os parâmetros de controle. Os critérios podem ser técnicos, econômicos e administrativos (Marcon, 2008).

Geração de Alternativas

Esse componente apresenta as soluções possíveis classificadas quanto ao tipo, época de cada intervenção e custos.

Otimização e Análise de Consequências

Busca-se aperfeiçoar benefícios e minimizar custos através da comparação das estratégias, definição da estratégia base, identificação do tempo ótimo para intervenção e das restrições, bem como a análise da repercussão das decisões tomadas na aplicação dos recursos (Marcon, 2008).

Saídas

São os resultados sintetizados e organizados em forma de relatórios, gráficos, tabelas e outros produtos acabados, representando a condição funcional e estrutural dos pavimentos que irão compor os programas de trabalho e orçamentos em nível de rede.

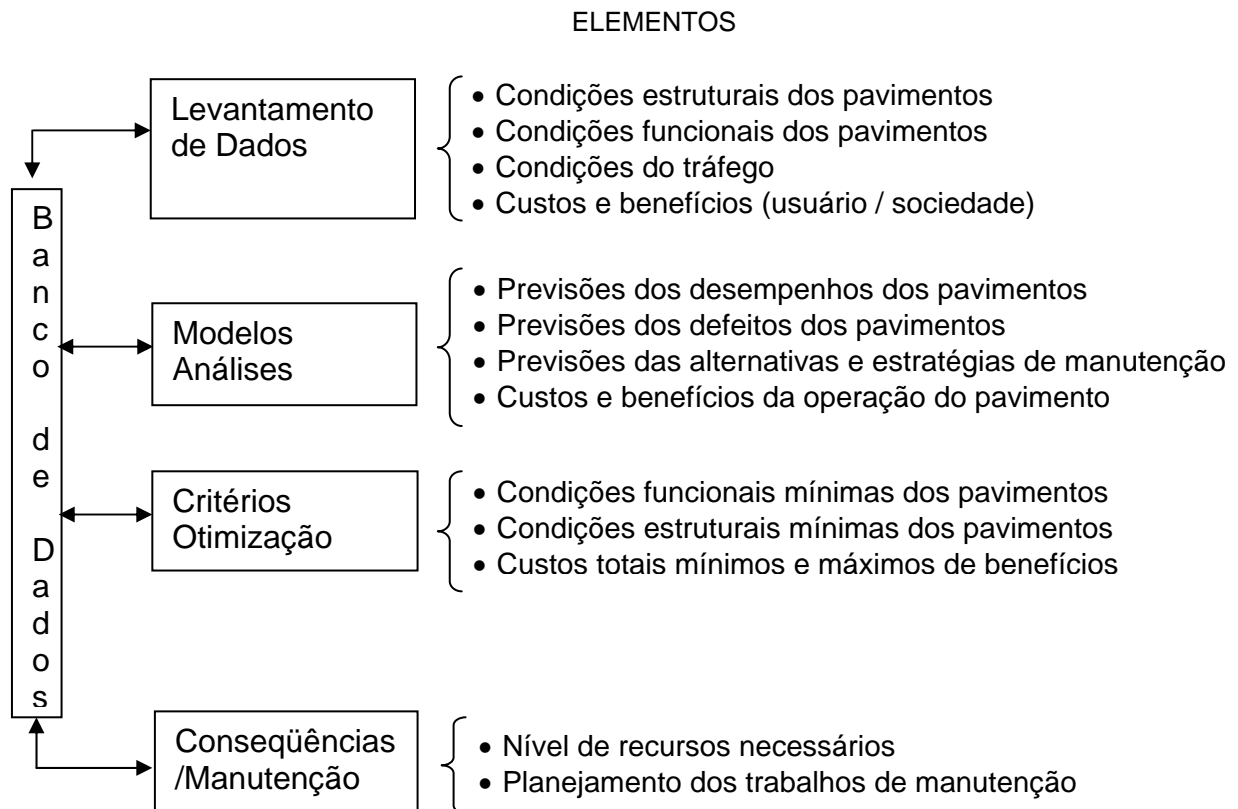
Retroalimentação

Constitui a reavaliação periódica do sistema, promovendo a atualização das informações da base de dados de forma a calibrar modelos de desempenho e programas de trabalho, apurar a eficácia das medidas de intervenção e atualizar as condições médias da rede.

Pesquisa e Treinamento

Esses dois domínios são componentes complementares do SGP, mas indispensáveis para sua eficácia (Marcon, 2008). A concepção e implantação de sofisticado SGP exigem que os técnicos, nas suas mais variadas áreas de atuação, sejam capacitados e treinados. O dinamismo das tecnologias aplicadas aos sistemas obriga o pessoal envolvido a não só acompanhar as evoluções, como também a trocar informações concernentes a seus respectivos subsistemas (Fonseca, 1998).

Com base na experiência observada no ambiente técnico no Brasil e em outros países, julga-se importante ressaltar que o sucesso da aplicação destes sistemas depende fundamentalmente do conhecimento técnico e da motivação, colaboração e entrosamento dos membros da equipe. Estas condições são adquiridas em grande parte nos cursos e treinamentos (Marcon, 2008).



**Figura 3.5 – Caracterização do Processo de Gerência de Pavimentos
(Fonseca, 1998)**

Segundo Marcon (2008), por razões que envolvem as características da malha, entre eles o tipo, extensão e condição, os recursos humanos, financeiros e de equipamentos e ainda o conhecimento tecnológico da equipe, os componentes básicos para o SGP em nível de rede não são padronizados.

3.5 GERÊNCIA DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS NO BRASIL

As análises conduzidas neste capítulo formaram a base para alcançar os objetivos colimados nesta pesquisa, qual seja a avaliação de pavimentos no ambiente brasileiro de infra-estrutura

aeroportuária. Pesquisada a base ideal e teórica de aplicação dos fundamentos discutidos e examinados, pode-se examinar mais diretamente o quadro brasileiro como objetivado.

3.5.1 Avaliação de Pavimentos nos Aeroportos do Brasil – Esforço Pioneiro

A Infraero, em 2001, realizou campanha em 32 aeroportos que teve como escopo: cálculo do PCI, levantamentos geotécnicos para atualização dos PCN, utilizando métodos destrutivos e atualização do histórico de intervenções realizadas ao longo dos anos (Infraero, 2001).

Constata-se, no entanto, que apesar das campanhas realizadas, a falta de um sistema de gerenciamento de pavimentos adequado impediu que os dados fossem acumulados e atualizados à medida que ocorressem obras de recapeamento ou reforço e também o cadastro de novas construções. Por outro lado, a não adoção de tecnologias modernas nos processos de coletas de dados demandou um grande número de profissionais alocados para essas tarefas, inviabilizando a continuidade.

Os impactos da falta do gerenciamento continuado dos pavimentos aeroportuários são identificados na medida em que os pavimentos apresentam degradação acentuada a partir da alteração do mix de aeronaves que operam nos aeroportos sem analisar a magnitude da sobrecarga imposta aos pavimentos das pistas de pousos e decolagens e pátios de estacionamento de aeronaves que invariavelmente reduzem a vida de serviço dos pavimentos conforme já mencionado. Essas alterações de mix de aeronaves sem o conhecimento atualizado da capacidade de suporte dos pavimentos (PCN) aceleram a sua degradação e promovem altos custos nas obras de recuperação.

A falta de gerenciamento de pavimentos continuado também impossibilita a priorização na destinação de recursos a partir do conhecimento da rede, em termos de qualidade e evolução de defeitos nos pavimentos que permitem ações rápidas de manutenção, reabilitação e reforço quando for o caso.

Em resumo, a falta do continuado gerenciamento dos pavimentos aeroportuários promove ou facilita o aparecimento de condições desfavoráveis, destacadamente:

- Alteração do mix de aeronaves com ACN maiores que os PCN dos sistemas de pistas de pousos e decolagens, pistas de táxis e pátios de estacionamento de aeronaves, impondo sobrecargas e acelerando a degradação dos pavimentos;
- Falta de conhecimento da qualidade dos pavimentos, evolução dos defeitos com prejuízo de sua capacidade estrutural;
- Dificuldade na tomada de decisões por não adoção de prioridade racional de emprego dos recursos, sejam eles financeiros, técnicos e humanos;
- Inexistência de banco de dados contendo informações técnicas e históricas para elaboração de projetos e avaliações;
- Ações retardadas para a realização de obras de recuperação e reforço dos pavimentos, podendo gerar obras com maiores custos;
- Existência de sistemas de pistas e pátios com PCN incompatíveis com os ACN das aeronaves hoje em operação em vista da grande evolução da frota.

3.5.2 Tentativa de Implantar Sistema de Gerência de Pavimentos

Nos anos 70, diante da retração global de investimentos em infra-estrutura e do inexorável processo de deterioração a que os pavimentos estão sujeitos, as entidades responsáveis por redes pavimentadas se empenharam em aprimorar os processos de tomadas de decisões relativas à manutenção e reabilitação de pavimentos com vistas a racionalizar e otimizar investimentos (Fonseca, 1998).

As primeiras atividades de gerência de pavimentos aeroportuários no Brasil foram ensaiadas no fim dos anos 70, mais precisamente em 79, 80 e 81. Naquela oportunidade, procurava-se coletar dados gerais relativos à estrutura dos pavimentos e seus históricos de construção, através de sondagens rotativas, executadas nas bordas das áreas pavimentadas. Ensaios laboratoriais determinavam as propriedades básicas das diversas camadas e do subleito, tais como espessuras, classificação dos materiais e resistência, em termos de CBR (Fonseca - 1998).

Ainda em 1991, foi iniciado o processo de implantação de um sistema de gerência de pavimentos (SGP) na Infraero e, em 1993, fez-se a aquisição de “*software*” pronto, desenvolvido por empresa americana, o “*Integrated Airport Pavement Management System*”,

jamais utilizado no Brasil, malgrado estivesse implantado em aeroportos como JFK, Newark e La Guardia, Heathrow e Gatwick. Nessa ocasião, foi adquirido um equipamento FWD de ensaio não destrutivo.

Esse processo mal sucedido de emprego e aquisição de equipamentos e softwares demonstrou, por diversas razões, a inexistência de treinamento e de cultura para organizar serviço que conduzisse ao SGP no Brasil.

4 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

4.1 INTRODUÇÃO

A avaliação de pavimentos é o conjunto de técnicas que se destina à realização de inventário acerca de informações e parâmetros que permitam a tomada de decisões quanto às ações a serem adotadas em relação ao pavimento avaliado. Em um sistema de gerenciamento de pavimentos, as características e finalidades específicas da avaliação dependem do enquadramento que se pretende em nível de rede ou em nível de projeto (Rodrigues, 2001).

Segundo o autor, a avaliação em nível de projeto deve ser constituída dos seguintes componentes: avaliação da condição funcional e avaliação da condição estrutural. A avaliação da condição estrutural divide-se em duas situações:

- Integridade estrutural – refere-se à presença maior ou menor de discontinuidades, como trincas e desagregações em camadas asfálticas ou cimentadas. É calculada por meio de avaliação visual, quando se registra a extensão, frequência e severidade dos defeitos existentes na superfície, pode ser suplementada por resultados de ensaios não destrutivos;
- Capacidade estrutural – consiste na característica que as camadas dos pavimentos têm de resistir aos efeitos deteriorantes gerados pela repetição das cargas do tráfego.

Existe uma estreita relação entre esses componentes, na medida em que a avaliação da condição estrutural permite prever a evolução da condição funcional ao longo dos anos. A redução do nível de serventia do pavimento é consequência dos defeitos e das deformações exteriorizados na superfície originados de complexa conjugação dos efeitos do tráfego e do clima sobre o pavimento.

Parte desses defeitos é de natureza estrutural, na proporção que são gerados pela repetição das cargas do tráfego. Isto é função do número e magnitude da frequência dessas cargas, bem como das respostas da estrutura do pavimento, na forma de distribuições de tensões e deformações que se manifestam em suas camadas constituintes (Rodrigues, 2001).

As avaliações têm como principal objetivo a determinação das condições do pavimento disponível ao usuário no que se refere à qualidade do serviço prestado. Isto significa levantar qual a frequência de ocorrência de defeitos na superfície do pavimento, sua natureza e como eles influenciam o conforto e a segurança dos usuários e, ainda, quais deverão ser as medidas corretivas a serem adotadas para restabelecer as condições normais e aceitáveis (Gontijo et al. apud Nóbrega, 2003).

A falta de informações confiáveis quanto ao histórico dos pavimentos como idade, espessuras das camadas, intervenções realizadas, tipo e condições dos materiais constituintes é realidade brasileira que preocupa os projetistas e os responsáveis pelo processo decisório envolvendo pavimentos, uma vez que é muito comum a ocorrência de sucessivos recapeamentos resultando em elevadas espessuras (Gonçalves, 1998).

4.2 AVALIAÇÃO FUNCIONAL

A avaliação funcional tem por finalidade determinar a capacidade de desempenho funcional momentânea, a serventia que o pavimento proporciona ao usuário, ou seja, o conforto em termos de qualidade de rolamento. O desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, ou seja, fornecer superfície adequada em termos de qualidade de rolamento (DNIT, 2006).

Compõem a avaliação da condição funcional os indicadores de segurança de uma pista: a resistência à derrapagem em pista molhada que pode ser medida com o μ -meter, equipamento que fornece o coeficiente de atrito; o perfil transversal, medido por perfilômetros indicadores das medidas das trilhas de roda. Eles influem diretamente no potencial para ocorrência da hidroplanagem (Rodrigues, 2001).

Avaliação de degradação da superfície é realizada com a identificação dos defeitos caracterizados quanto ao tipo, intensidade, gravidade, frequência e extensão.

Segundo Rodrigues (2001), o registro desses defeitos quase sempre é realizado visualmente, embora já existam equipamentos que realizam as leituras através de sensores a laser.

O levantamento dos defeitos destina-se a identificar as medidas de conservação necessárias para evitar a deterioração acelerada no futuro ou para determinar as soluções de recuperação requeridas para melhoria do pavimento. Essas informações serão aplicadas nos projetos de restauração, utilizando os registros para:

- Selecionar as medidas para correção das deficiências funcionais detectadas;
- Dimensionar as espessuras das camadas de recapeamento se for o caso;
- Elaborar diagnóstico para o pavimento através de análise conjunta dos defeitos levantados, histórico de manutenção e do tráfego, da condição estrutural e idade do pavimento;
- Esclarecer os mecanismos através dos quais ocorreu sua deterioração.

4.2.1 Avaliação Funcional Aplicada a Aeroportos

Em aeroportos, a avaliação funcional é realizada utilizando o método PCI (*Pavement Condition Index*). Método de avaliação de pavimentos originário de um estudo desenvolvido por Shain do CERL “*Construction Engineering Research Laboratory*” e publicado em julho de 1979 pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos – USACE (Apud et al., 1998).

O método foi primeiramente desenvolvido para pavimentos de aeroportos e, posteriormente, ampliado para rodovias, ruas e estacionamentos, com base na experiência adquirida, na validação de campo e informações dos engenheiros especialistas do USACE. Tem como principal objetivo obter índice numérico qualificador da condição do pavimento (PCI) que retrate a condição do estado real do pavimento de modo a estabelecer padrão para:

- Classificar a integridade estrutural e a condição operacional da superfície dos pavimentos;
- Determinar as necessidades de manutenção;
- Determinar necessidades de reabilitação e prioridades, por meio de comparação do estado de diferentes trechos de pavimento;
- Prever o desempenho do pavimento mediante determinação periódica do PCI (Shain e Khon apud et al, 1998).

A avaliação da superfície pode ser realizada de modo contínuo ou por amostragem. Mesmo no levantamento contínuo, cada trecho deve ser dividido em segmentos homogêneos medindo, aproximadamente, 225 metros quadrados. Cada segmento é inventariado, identificando-se os tipos, as quantidades, as severidades de cada defeito e registrando-se manualmente em uma planilha.

No procedimento para determinar o Índice de Condição do Pavimento – Pavement Condition Index (PCI), foi adotada escala bem definida a fim de comparar diversos tipos de pavimento, conforme apresentado no Quadro 4.1.

PCI	Condição do Pavimento
100 - 86	Excelente
85 – 71	Muito bom
70 – 56	Bom
55 - 41	Regular
40 – 56	Ruim
25 – 11	Muito ruim
10 – 0	Péssimo

Quadro 4.1 – Condição do Pavimento em Função do Índice de Condição do Pavimento – PCI
(Danieleski, 2004)

Os pavimentos aeroportuários devem atender a duas funções essenciais:

- Prover adequada capacidade de suporte às aeronaves que o utilizam;
- Prover boa qualidade de rolamento e segurança operacional às aeronaves sob condições meteorológicas adversas.

Para tanto, é necessária a adoção de práticas sistemáticas de avaliação que permitam permanente vigilância das condições funcionais essenciais dos pavimentos aeroportuários Bernucci et al. (2007) também ressalta que, para a avaliação da segurança dos pavimentos além da geometria e irregularidade superficial, é de extrema importância avaliar o atrito pneu-pavimento, principalmente em dias de chuva, uma vez que as condições de aderência em

pavimentos aeroportuários constituem-se fatores de grande relevância para a segurança das operações aeronáuticas, bem como, a tomada de decisão de manutenção das pistas de pouso e decolagem.

Para a avaliação da aderência pneu-pavimento, são realizadas avaliações de macrotextura, microtextura e medições de atrito que auxiliam na identificação dos fatores que afetam a resistência à aquaplanagem.

Avaliação da macrotextura: mede a profundidade da mesma na superfície do pavimento responsável pela maior ou menor perda de energia ao contato com os pneus das aeronaves e sua avaliação é realizada através do ensaio mancha de areia;

Avaliação da microtextura: sua avaliação ocorre através do tato, pela percepção da natureza áspera ou lisa dos agregados da superfície do pavimento, o que permite ou não a ruptura da lâmina d'água acumulada à passagem dos pneus das aeronaves;

Medidas do coeficiente de atrito com a pista molhada: a ação conjunta da macrotextura e da microtextura se reflete no coeficiente de atrito que é medido com o equipamento μ -meter;

Quanto aos fatores que afetam a qualidade do rolamento, podem ser identificados realizando as medidas de irregularidade com equipamentos que medem os deslocamentos verticais relativos entre os chassis de um veículo e seu diferencial, devido às irregularidades superficiais do pavimento e com medidas de perfil através de levantamento topográfico. Essas irregularidades superficiais produzem vibrações danosas às estruturas e equipamentos das aeronaves e prejudicam a leitura de instrumentos.

Segundo a FAA, os defeitos dos pavimentos aeroportuários estão enquadrados em quatro categorias: trincas, defeitos de desintegração, deformações superficiais e defeitos relacionados à derrapagem.

4.3 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

A avaliação estrutural é associada aos parâmetros relacionados à capacidade de carga do pavimento. Desse modo, a avaliação estrutural é realizada para conhecer as características das

múltiplas camadas que compõem o pavimento, quanto à sua resistência, sintomas de fadiga e deformabilidade sob a ação do tráfego, as quais são funções das propriedades dos materiais e das espessuras das camadas (Medina, 1997).

A avaliação estrutural possibilita emitir conclusões sobre a integridade das camadas inferiores ao revestimento, cujos defeitos muitas vezes não são detectados pela avaliação visual superficial (Balbo, 2007).

A condição estrutural de um pavimento indica a sua adequação ou a sua capacidade de resistir à deterioração desencadeada pela passagem das cargas do movimento de aeronaves. A análise estrutural de pavimento consiste no cálculo das respostas da estrutura à passagem das cargas das aeronaves nas áreas de movimento do aeroporto, na forma de tensões, deformações e deflexões nos pontos críticos da estrutura, de maneira que possibilite avaliar a sua capacidade de resistir aos mecanismos de degradação provocados pela ação repetida das cargas oriundas do rolamento de aeronaves (Rodrigues, 2001).

A correta avaliação da condição estrutural de um pavimento é imprescindível para a confiabilidade das atividades que envolvem o diagnóstico dos problemas do pavimento e o dimensionamento de restaurações, como a seguir examinados:

- Elaboração de diagnóstico acerca dos problemas e do desempenho revelado pelo pavimento permite adotar medidas de restauração eficazes, sob o ponto de vista econômico, por atuarem junto aos mecanismos que vêm provocando a degradação do pavimento ao longo do tempo;
- Dimensionamento estrutural do pavimento restaurado e estimativa da vida restante do pavimento existente deve ser feito por meio da caracterização do pavimento através de um modelo estrutural que permita o cálculo das tensões e deformações provocadas pelas cargas do tráfego.

4.3.1 Métodos de Avaliação Estrutural

Os exames dos métodos de avaliação estrutural de pavimentos permitem que eles sejam classificados em ensaios destrutivos e ensaios não-destrutivos (Balbo, 2007).

A avaliação estrutural destrutiva tem como finalidade a completa caracterização física da estrutura do pavimento: determinação das camadas existentes e suas espessuras, definição dos materiais que as compõem e, ainda, o estado de degradação apresentado em todas as camadas (Balbo, 2007).

Os ensaios destrutivos são caracterizados pela remoção de amostras das camadas do pavimento para determinação, em laboratório, das suas características “*in situ*”, bem como a verificação, nos furos de sondagem, dos itens a seguir relacionados:

1. As espessuras das camadas;
2. As condições dos materiais;
3. As eventuais deformações das camadas;
4. Os tipos de materiais;
5. As condições de umidade.

Esse tipo de avaliação utiliza métodos manuais ou mecânicos. Os processos mais comuns para as sondagens são:

- Abertura dos poços situados nos bordos do revestimento do pavimento, com o auxílio de ferramentas;
- Abertura de furos a trado;
- Extração de amostras de revestimentos e bases com sondas rotativas.

Pela sua própria natureza destrutiva, esse método só pode ser empregado em alguns poucos pontos selecionados como representativos de cada segmento a ser avaliado.

Este tipo de avaliação destrutiva apresenta como principais desvantagens os seguintes fatores:

1. Dificuldades de reprodução do estado de tensões e condições ambientais;
2. Tempo demandado nesta atividade;
3. Interdição do tráfego;
4. Danificam o pavimento.

Diferentemente, os ensaios não destrutivos possibilitam a avaliação das condições do pavimento sem danificá-los. A evolução da tecnologia de equipamentos para testes não destrutivos de prospecção do solo e medidas de deflexão tem sido continuada ao longo dos anos e tem incorporado importantes inovações tecnológicas.

Na década de 60, iniciou-se no Brasil o uso de equipamentos deflectométricos na avaliação de pavimentos com a Viga Benkelman que se tornou uma ferramenta valiosa para a avaliação da condição estrutural (Rocha Filho, 1998).

Apesar do desenvolvimento de diversos equipamentos para medir as deflexões provocadas por carga de roda, a Viga Benkelman foi a que mais se difundiu pelo mundo. Posteriormente, constatou-se que os dados obtidos a partir das medições realizadas com a viga eram insuficientes para caracterizar completamente a condição estrutural dos pavimentos. Somente depois de quase 50 anos, a viga foi gradativamente sendo substituída pelo FWD (Rocha Filho, 1998).

A viga teve ampla utilização no Brasil para a medição das bacias deflectométricas, porém seu uso foi reduzido com o emprego do FWD capaz de proporcionar aperfeiçoamentos às avaliações com importantes características entre as quais se destacam:

1. Maior acuidade das medidas;
2. Maior produtividade em termos de número de ensaios por dia de trabalho;
3. Simular, de forma mais real, as condições de carregamento do tráfego;
4. Reduzir os custos dos ensaios;
5. Obter os dados da análise estrutural de forma menos danosa aos pavimentos.

A avaliação da condição estrutural dos pavimentos, realizada pelos órgãos responsáveis pelo gerenciamento de pavimentos no Brasil, é baseada fundamentalmente no registro de defeitos de superfície, abertura de poços de sondagem para a identificação da natureza e das espessuras dos materiais das camadas do pavimento e na realização de provas de cargas para medida de parâmetros de resposta da estrutura às cargas de roda em movimento (levantamentos deflectométricos). Outro aspecto importante é o fato de que o procedimento usual em algumas normas brasileiras de se realizar avaliações destrutivas a intervalos pré-

fixados (como a cada 1 ou 2 km) conduz a um esforço desnecessário e pouco eficaz em termos de tempo e recursos (Gonçalves & Ceratti, 1998).

Para o Brasil, lamentavelmente o texto acima continua válido e atual, apesar dessa constatação ter ocorrido há 10 anos.

4.3.2 Avaliação Estrutural em Gestão de Aeroportos

A avaliação estrutural de pavimentos é uma atividade imprescindível ao administrador de aeroportos. Segundo Roehrs (2002), um dos problemas habituais e atuais com que as autoridades aeronáuticas se deparam está relacionado à capacidade de suporte das pistas e pátios (PCN – *Pavement Classification Number*) quando as empresas de transportes aéreos desejam utilizar aeronaves de maior porte do que aquelas que usualmente vêm operando em determinado aeroporto.

A estimativa de capacidade de suporte dos pavimentos (PCN) para variações esperadas no volume de tráfego ou “mix” de aeronaves com a introdução de aeronaves mais críticas (ACN – *Aircraft Classification Number*), bem como a verificação e análise do desempenho de pavimentos para fins de engenharia, planejamento e projetos de reforço são razões para a renovação recorrente da avaliação estrutural dos pavimentos aeroportuários.

A Figura 4.1 apresenta modelo de fluxo para análise da capacidade de suporte de determinada pista de pouso e decolagem compondo ferramenta para a tomada de decisões quanto à operação de aeronaves e obras para adequação do PCN.

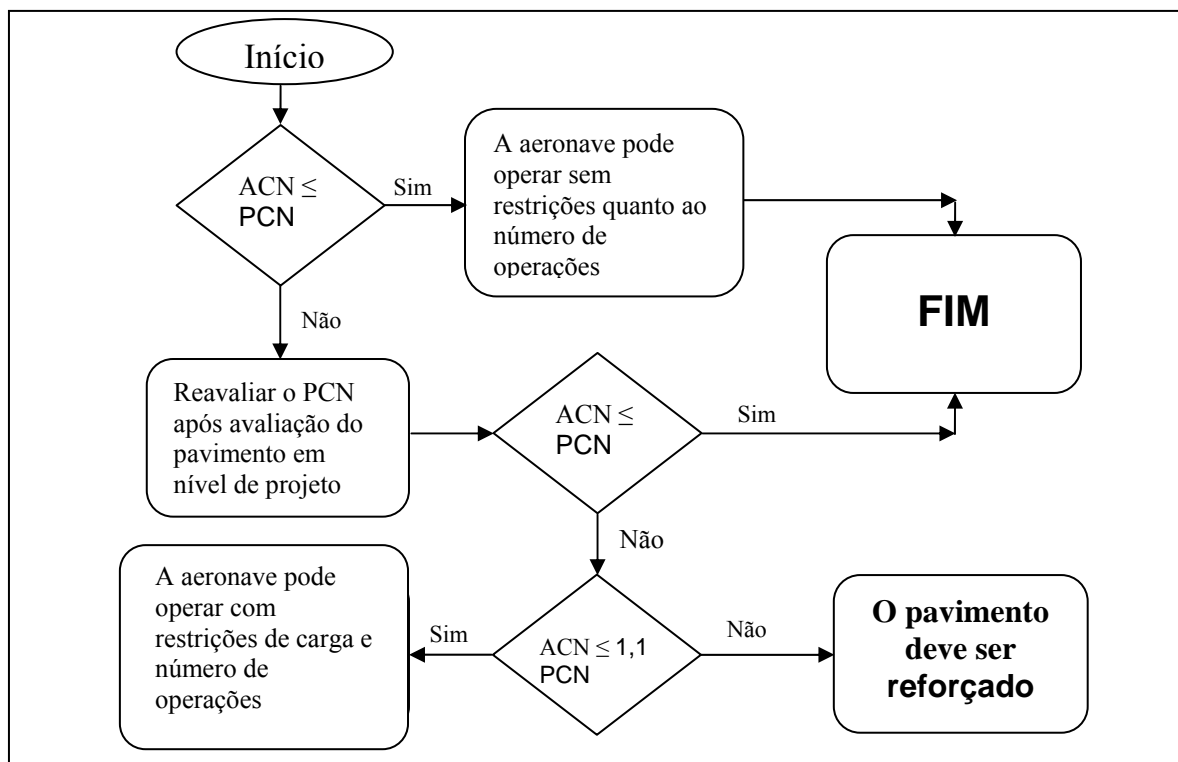


Figura 4.1 - Decisão Para Mudança de PCN
(Roehrs, 2002)

Para a realização de avaliação de pavimentos em aeroportos, a grande preocupação que normalmente ocorre refere-se à interferência no tráfego de aeronaves.

As técnicas não destrutivas proporcionam formas de avaliação mais adequadas para pavimentos aeroportuários. Elas podem ser realizadas em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da carga com o tempo. Até recentemente, os únicos métodos utilizados nesta tarefa eram os denominados “destrutivos” que implicavam na prospecção do pavimento através da abertura de poços de inspeção, sondagens e ensaios “*in situ*” e em laboratório, os quais, pelas próprias características, eram demorados e muito interferiam no tráfego.

A operação inicial do B-727-200, em Congonhas, causou inúmeros colapsos no pavimento antes de ser detectado que, em termos de tecnologia posterior, possuía ACN maior do que o PCN da pista. Como agravante a frota desse modelo de aeronave operava com base nesse aeroporto. A anomalia somente foi comprovada posteriormente e o necessário reforço do pavimento da área de manobras do aeroporto somente foi decidido após a realização de ensaios destrutivos (Silva, 1991).

Esse exemplo é característico da falta de informações por inexistência de procedimentos de ensaio e da falta de metodologia para Gerência de Pavimentos.

5 TECNOLOGIA APLICADA À AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS DOS PAVIMENTOS

5.1 INTRODUÇÃO

A expressão avaliação estrutural, no seu sentido mais amplo, abrange a caracterização completa de elementos e variáveis estruturais dos pavimentos que permita descrever objetivamente o modo de comportamento e reação face às cargas do tráfego e ambientais, de maneira a possibilitar julgamento adequado sobre a capacidade de suporte de um pavimento existente diante da futura demanda em termos de movimento de aeronaves. Desse modo, caracterizar a estrutura de um pavimento existente implica na determinação dos materiais e espessuras de cada camada que constituem um pavimento, inclusive do subleito (Balbo, 2007).

Segundo o autor, essas avaliações combinadas com a identificação dos defeitos superficiais possibilitam a definição dos padrões e causas de patologias existentes nos pavimentos, objetivando diagnóstico para sua completa reparação.

As tecnologias não destrutivas permitem diversos tipos de ensaios nos pavimentos. Sendo necessário que a avaliação estrutural seja cuidadosamente planejada, com a elaboração de plano que defina a seleção do equipamento a ser utilizado, além das informações requeridas e o método de análise (Haas apud Nóbrega, 2003).

A busca de bons equipamentos e métodos de avaliação não destrutiva de pavimentos, ainda não utilizados rotineiramente no Brasil, promoveu a procura e o desenvolvimento de diferentes tipos de métodos não destrutivos consagrados universalmente que possibilitam:

1. Aumentar a produtividade em termos de número de ensaios por dia de trabalho;
2. Aumentar a acuidade das medidas;
3. Simular, de forma mais real possível, as condições de carregamento do tráfego (magnitude, forma e tempo equivalente de carregamento);
4. Reduzir o custo dos ensaios.

Investimento adicional em tecnologia aplicada nas etapas de projeto, de construção e de manutenção dos pavimentos tenderá a trazer significativos benefícios econômicos, além dos de natureza técnica. Principalmente, levando-se em conta que, no Brasil, uma das maiores preocupações nessa área refere-se à falta de informações confiáveis sobre o histórico dos pavimentos, ou seja, idade, espessura das camadas, manutenções realizadas, tipo e condições dos materiais constituintes, além da fidedignidade da construção em relação ao projeto aprovado e contratado (Gonçalves & Ceratti, 1998).

Avanços significativos têm sido realizados mundialmente em técnicas não destrutivas para avaliar estruturas de pavimentos com rapidez e precisão. Essas técnicas incluem desde a medição de deflexões, utilizando o Falling Weight Deflectometers (FWD), até tecnologias mais avançadas como a propagação de ondas eletromagnéticas com o Ground Penetrating Radar (GPR) para prospecção e conhecimento das camadas dos pavimentos.

Os custos envolvidos no levantamento de dados, os recursos limitados para manutenção de infraestrutura e a falta de procedimentos simplificados para análise têm sido obstáculos tradicionais ao emprego desses equipamentos (Noureldin, 2003).

O objetivo deste capítulo é apresentar esses equipamentos e como eles são aplicados na avaliação de pavimentos mundialmente, mas ainda ausentes no Brasil.

5.2 PROSPECÇÃO NÃO DESTRUTIVA DE PAVIMENTOS

As informações de espessura das camadas do pavimento freqüentemente são essenciais para a elaboração de projetos de engenharia e avaliações de pavimentos.

Equipamento de alta tecnologia tem sido utilizado para identificação do tipo de materiais e espessuras de camadas existentes no pavimento, utilizando processos geofísicos (Balbo, 2007).

Denominado GPR (Ground Penetrating Radar), o equipamento, no estado da arte, utiliza tecnologia baseada na propagação de ondas eletromagnéticas, a qual tem sido difundida como ferramenta complementar à avaliação estrutural não destrutiva de pavimentos (Gonçalves & Ceratti, 1998).

Considerado equipamento sofisticado para sondagens e investigações de baixa profundidade, o GPR consiste em um tipo especial de radar [ra(dio)+d(etecting)+a(nd)+ r(anging)] e, no campo da engenharia de pavimentos, a sua aplicação abrange as seguintes atividades:

- Identificação das espessuras das camadas do pavimento;
 - Verificação das condições dos materiais das camadas;
 - Investigação da presença de vazios sob as placas de concreto cimento.
- (Gonçalves & Ceratti, 1998)

Suas principais vantagens são:

- Possibilidade de executar perfis contínuos do solo com rapidez e baixo custo nos levantamentos, se comparado a sondagens ou escavações e obtenção de resultados rápidos e de alta resolução;
- Consiste numa forma não destrutiva de se determinar as espessuras das camadas do pavimento, além de não interferir no tráfego. Possibilita a determinação da estrutura do pavimento de forma contínua, melhorando a demarcação dos segmentos homogêneos (Margarido apud Nóbrega, 2003).

Os métodos destrutivos com aplicação de abertura de poços de inspeção ou extração de corpos de prova, para determinar a espessura das camadas dos pavimentos, são demorados, caros e proporcionam informações localizadas dos pontos onde foram coletados, diferentemente do GPR que proporciona levantamentos contínuos ao longo de toda a extensão da superfície da área de movimento e requer menor tempo (Yuejian et al., 2007).

No entanto, também há limitações e a efetividade do mapeamento com o GPR é função das características do local a ser analisado, do modelo do equipamento utilizado e da experiência da pessoa que irá interpretar os resultados (Yuejian et al., 2007).

- O GPR, por si só, não avalia ou quantifica diretamente os alvos detectados, essas etapas são de responsabilidade do interpretador que, de modo interativo, conta com a ajuda de programas de computador desenvolvidos com propósitos específicos de auxiliar a interpretação dos dados levantados (Gonçalves & Ceratti, 1998).

- Em locais onde as condições geológicas e ambientais são pouco favoráveis, como aquelas localizadas em ambientes com solo argiloso de baixa resistividade elétrica, deve ser realizada análise cuidadosa, quase sempre acompanhada de outros ensaios geofísicos ou investigação direta (Aguiar, 2005).

5.2.1 Princípio de Operação do GPR

O Sistema GPR foi desenvolvido a partir da Segunda Guerra Mundial como aplicação às pesquisas do interior da terra a partir de radares aéreos originalmente desenvolvidos para detectar aviões e navios (Yuejian et.al., 2007).

O mapeamento geológico de parte da Amazônia e do cristalino brasileiro pelo projeto RADAM de aerogeofísica é exemplo marcante do emprego do radar, sem o qual não estaria sendo explorado o complexo de Carajás e outros dele decorrentes. O mapeamento dos imensos jazimentos brasileiros de urânio foi também resultado do emprego de métodos alternativos da mesma aerogeofísica (Silva, 1977).

Baseado em processos geofísicos, através de uma antena emissora de ondas e outra antena receptora é possível a detecção de alterações em padrões de reflexão de ondas conforme a profundidade dos pontos registrados. Esse processo permite a determinação de espessuras das camadas dos pavimentos (Balbo, 2007).

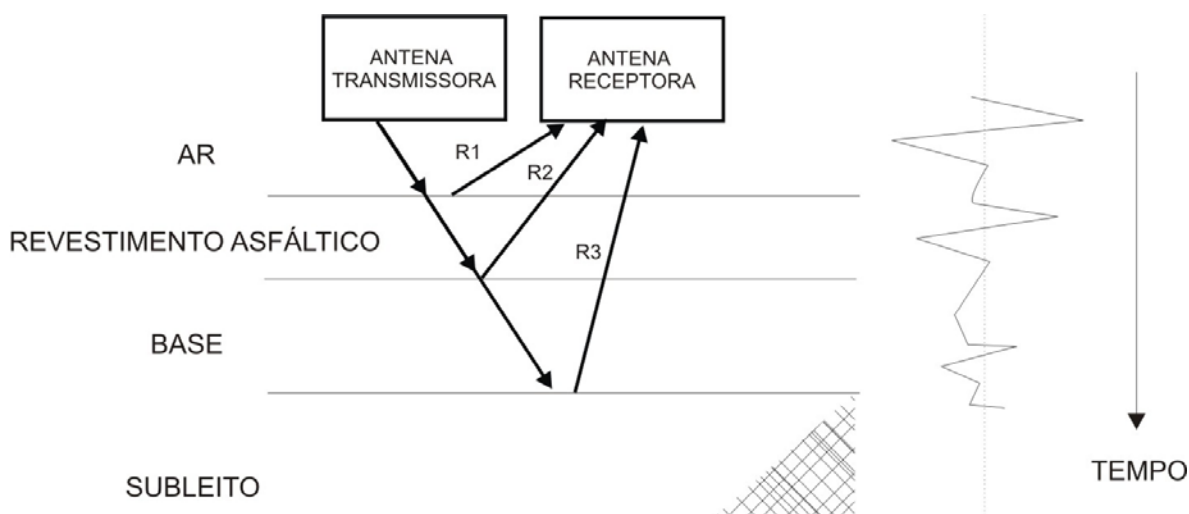


Figura 5.1 - Princípio de funcionamento do GPR
(Gonçalves & Ceratti, 1998).

Através da emissão de pulsos eletromagnéticos que se refletem no interior do pavimento e retornam com um tempo e amplitude relacionados às propriedades de cada material, torna-se possível identificar as interfaces das camadas de pavimentos através das constantes dielétricas de cada meio que a onda atravessa (Gonçalves & Ceratti, 1998).

No Quadro 5.1, são apresentados exemplos das propriedades eletromagnéticas típicas dos materiais receptores e como eles interferem com as ondas eletromagnéticas refletidas.

Quadro 5.1 - Propriedades Eletromagnéticas Típicas

Propriedades eletromagnéticas típicas (NCHRP <i>Synthesis</i> 255, 1998)				
Material	Constante dielétrica relativa	Condutividade (mS/m)	Velocidade (m/ns)	Atenuação (dB/m)
Ar	1	0	0,30	0
Água	81	0,05	0,033	0,1
Água do Mar	80	0,0001	0,015	0,001
Areia seca	3 - 5	0,01	0,15	0,01
Areia saturada	20 - 30	0,1 - 1,0	0,06	0,03 - 0,3
Siltes	5 - 30	1 - 100	0,07	1 - 100
Argilas	5 - 40	2 - 1000	0,06	1 - 300
Granito	4 - 6	0,01 - 1	0,13	0,01 - 1
Concreto asfáltico	3 - 6	0,5 - 1,5	0,12	0,05 - 0,5
Concreto cimento	6 - 11	1 - 3	10	0,5 - 1,5

(Gonçalves & Ceratti, 1998)

A partir da amplitude e do tempo correspondentes ao pico das reflexões que ocorrem nas interfaces existentes entre as camadas, determina-se as espessuras das camadas do pavimento com base nos levantamentos realizados com o GPR (Gonçalves & Ceratti, 1998).

Depois de identificado o tempo de propagação da onda eletromagnética no meio em estudo, pode-se então convertê-lo em espessura ou profundidade, locando dessa forma a interface de interesse. Para isso, é necessário conhecer a velocidade de propagação da onda no interior da camada.

A exploração com GPR é limitada pela condutividade e pela composição do solo. Desse modo, a decisão da seleção da antena a ser utilizada varia em função das estimativas das dimensões e das profundidades dos objetos refletores a serem estudados, bem como dos objetivos da investigação e dos parâmetros elétricos do terreno, isto é, condutividade elétrica e permeabilidade magnética.

Para a realização dos levantamentos contínuos, o equipamento pode ser adaptado em um veículo, proporcionando agilidade no processo de aquisição, registro e pré processamento dos dados.



Figura 5.2 - Modelo de Equipamento de GPR
(Nóbrega, 2003)

5.2.2 Potencial do GPR na Avaliação de Pavimentos

Muitas pesquisas estão sendo realizadas para conhecer e ampliar as informações quanto à aplicabilidade do GPR para avaliação de pavimentos. Como todo método analógico, existe grande potencial de emprego, mas a interpretação é parte fundamental e depende da competência e experiência dos analistas.

No Brasil, estudos realizados pela UFRGS/DAER demonstraram a possibilidade de utilização desse tipo de equipamento na avaliação de pavimentos. As informações a respeito das espessuras das camadas dos pavimentos obtidas pelo GPR podem ser utilizadas como elemento esclarecedor nas seguintes atividades de gerência de pavimentos (Gonçalves & Ceratti, 1998):

- Inventário de pavimentos em nível de rede;

- Identificação da homogeneidade e consistência das camadas;
- Determinação de estruturas incompatíveis com as dimensões de projeto;
- Localização de vazios e descontinuidades abaixo da camada de revestimento;
- Identificação de acidentes naturais perturbadores como cursos de água subterrâneos;
- Retroanálise de levantamentos realizados com o FWD;
- Controle de qualidade na execução de espessuras das camadas de pavimento já construídas ou em construção.

Além dessas aplicações, segundo o autor, a partir do acompanhamento da variação da espessura das camadas ao longo do tempo, o GPR possibilita a identificação da camada do pavimento que mais esteja contribuindo para a ocorrência de deformações plásticas ao longo da sua vida serviço, além da comparação documentada da evolução do comportamento das camadas.

Cerrati (1998) apresenta os resultados obtidos com o GPR nos estudos realizados em 46(quarenta e seis) diferentes seções de pavimentos, localizados em 12 estados americanos, para identificar o potencial do GPR. Nas pesquisas para determinar as espessuras dos pavimentos foram correlacionados levantamentos realizados com o GPR com amostras coletadas no campo, procedimento que demonstrou uma precisão de $\pm 7,5\%$ para camadas de revestimento asfáltico e $\pm 12\%$ para as camadas granulares de base. Precisão bem satisfatória para o controle de pavimentos, em especial se considerada a natureza analógica do método.

Com o mesmo objetivo, o Kentucky Transportation Center, em conjunto com a Universidade de Kentucky, realizou pesquisas em nove seções distribuídas ao longo de rodovias estaduais norte americanas. Os resultados obtidos apresentaram acuidade de $\pm 9,9\%$ para pavimentos flexíveis, $\pm 1,39\%$ para camadas de bases asfálticas e $\pm 14\%$ para o pavimento concreto-cimento (Willet, 2002).

Outras pesquisas foram realizadas pelo Minnesota Department of Transportation (MnDOT) que tem usado o GPR desde 1998. Em conjunto com a Universidade de Minnesota, realizou pesquisas em 22 projetos distribuídos no estado que têm como objetivo examinar as possibilidades e limitações do GPR para outras aplicações além da determinação de espessuras.

O objetivo dessa pesquisa foi de identificar o potencial do equipamento em diversas aplicações, obtendo sucesso nas seguintes delas com tolerância julgada adequada ao controle de pavimentos (Yuejian et al., 2007):

- Determinar as espessuras dos pavimentos asfálticos, ou de concreto, em camadas de base e sub-base;
- Estimar a densidade do pavimento asfáltico;
- Detectar vazios sob placas de concreto-cimento; localizar descontinuidades verticais analisando os mecanismos de ruptura;
- Detectar anomalias nas camadas inferiores, ou seja, descontinuidades estruturais;
- Identificar trilhas de roda e analisar as causas de anomalias quanto ao dimensionamento das camadas do pavimento.

Segundo Yuejian (2007), dentre outras aplicações, o GPR pode ser usado para identificar os mecanismos dos afundamentos de trilha de roda e mais ainda, identificar as possíveis ações corretivas, uma vez que o monitoramento de um afundamento permite maior precisão na definição da vida útil dos pavimentos, bem como a identificação das camadas que estão subdimensionadas.

Estudos realizados na Universidade da Virgínia, Estados Unidos, indicaram que podem ocorrer erros aceitáveis na coleta de dados com o GPR, relacionados com a idade dos pavimentos. Observou-se 4.4% de erros para pavimentos com idade até 5 anos; aumentando para 5.8% para pavimentos com idade entre 10 e 20 anos (Kohler, 2006).

A experiência aeroportuária brasileira com aplicação do GPR ocorreu no Aeroporto Internacional Pinto Martins, em Fortaleza no Ceará. O objetivo do estudo era identificar possível dano à tubulação do queroduto de abastecimento das aeronaves devido à movimentação das Placas de Concreto de Cimento Portland do pátio de estacionamento de aeronaves. Ao todo eram 54 caixas compostas por equipamentos para abastecimento das aeronaves, das quais 14 foram danificadas. A grande preocupação dos técnicos era o risco de explosão, o que se revelou infundado.

O pátio de estacionamento de aeronaves, constituído em placas de concreto com espessura de 38 cm, foi construído sobre aterro com altura que varia de 2 a 8 metros e a realização de investigação utilizando métodos destrutivos causaria grandes transtornos às operações das aeronaves no aeroporto. A condição considerada de risco naquele momento exigia respostas rápidas, o que levou a Infraero a buscar técnicas não destrutivas, em experiência inédita, adotar essa tecnologia para identificar se o maciço de aterro havia se movimentado e, conseqüentemente, danificado a tubulação que transporta o combustível para os aviões.

Os resultados das investigações geofísicas e geológicas levantadas no pátio de estacionamento, com uso da tecnologia GPR (Ground Penetrating Radar), identificou que não havia registro geofísico comprovando a existência de movimentação de massa no aterro que justificasse risco de integridade estrutural para os terminais de abastecimento. A análise não destrutiva possibilitou a solução do problema apenas com a recuperação das placas e reconstrução das juntas de dilatação (Infraero, 2003).

5.3 MEDIDAS DE DEFLEXÕES

Além de determinar os tipos, espessuras e condições presentes nas camadas que trazem diversificadas informações estruturais, é necessária a determinação da capacidade estrutural do pavimento, o que é realizado por meio de provas de cargas. Nesse caso, a estrutura é submetida a certa carga conhecida com a realização de medição das deformações impostas.

As técnicas de medição de deflexões são largamente utilizadas nas avaliações estruturais não destrutivas de pavimentos. Estas são mais utilizadas em relação às técnicas destrutivas em função de seu baixo custo, maior abrangência da área pesquisada, menor retenção do tráfego e, segundo o próprio nome indica, não danificam o pavimento (Haas et al. apud Nóbrega, 2003).

São vários os instrumentos que podem ser utilizados na avaliação estrutural não destrutiva de pavimentos. Nas últimas décadas do século XX, houve relevante evolução tanto nos dispositivos de leitura das deflexões quanto no modo como o carregamento é aplicado ao pavimento (Rocha Filho, 1996).

Segundo Bernucci et al. (2007), há três classes de equipamentos utilizados na avaliação estrutural não destrutiva, quanto à forma de aplicação da carga, São eles:

- Carregamento quase-estático: ensaio de placa e a arcaica, porém útil, Viga Benkelman
- Carregamento Vibratório: Dynaflect.
- Carregamento por impacto: Falling Weight Deflectometer (FWD).

Os equipamentos de medição de deflexão do pavimento – deflectômetros – mais utilizados no país são de duas gerações distintas:

- Viga Benkelman desenvolvida na década de 1950;
- Equipamentos de peso de queda (falling weight deflectometer), 1980 – FWD.

Levantamentos deflectométricos ou medidas de deflexões têm como objetivo auxiliar no diagnóstico dos pavimentos, através da avaliação da sua condição estrutural. A partir desses levantamentos, são medidas as deflexões superficiais que constituem uma das respostas do pavimento quando submetido à aplicação de cargas transientes, sua correta interpretação pode indicar a capacidade das camadas do pavimento para resistir aos efeitos deteriorantes produzidos pela repetição das cargas do tráfego. (Rocha Filho, 1996)

Os equipamentos mais utilizados atualmente para medida dos deslocamentos elásticos de um pavimento (levantamentos deflectométricos) são os de impacto que aplicam cargas impulsivas por queda de um conjunto de peso suspensos a certa altura, sobre um sistema que amortece e transfere as cargas aplicadas a uma placa metálica apoiada sobre o pavimento (Bernucci et al.2007).

5.3.1 Princípios de Operação do FWD

O FWD é equipamento totalmente automatizado, rebocado por um veículo utilitário leve que carrega parte do sistema de aquisição de dados realizado por computador que fica conectado aos sensores instalados na parte rebocada, ou seja, o deflectômetro propriamente dito (Bernucci et al. 2007).

Segundo os autores, o ensaio consiste em aplicar a carga de impacto e ler os deslocamentos em vários sensores colocados ao longo de um suporte em posições convenientemente escolhidas para se obter a linha de deslocamentos.

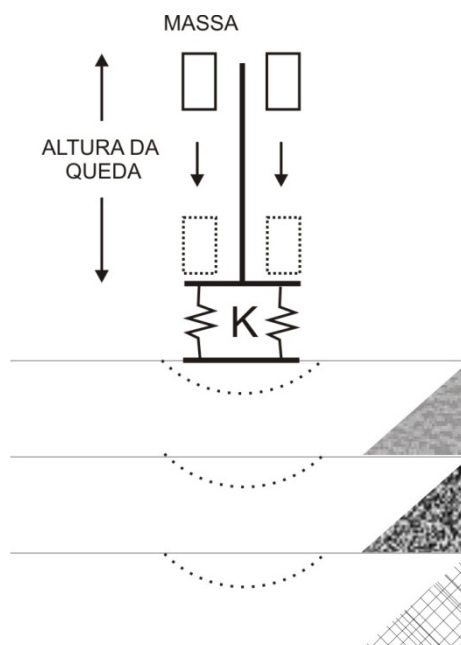


Figura 5.3 – Princípio de Funcionamento do FWD
(Nóbrega, 2003)

A duração do pulso de carga resultante (25 a 30 ms) simula, no pavimento, os efeitos de cargas de roda a velocidades de 70 km/h, a magnitude das cargas e a área de contato simulam os eixos dos caminhões ou dos trens de pouso das aeronaves (Rodrigues, 2001).

Depois de aplicada a carga, sete (esse número pode ser menor) transdutores de velocidade ou geofones dispostos longitudinalmente captam as ondas de resposta ao impacto (Baldo, 2007).

O autor relata que no processo de análise, as ondas resultantes dos deslocamentos da superfície nos vários pontos são captadas e suas acelerações integradas para definição da distância percorrida, o que fornece a deflexão em cada ponto analisado, permitindo produção elevada e alta precisão na leitura ao equipamento.

Aplica-se a qualquer tipo de pavimento, inclusive para a avaliação de juntas e detecção de solapamentos de placas de concreto cimento Portland (Rodrigues, 2001).

As deflexões representam a resposta do pavimento em termos de deformação sob ação das cargas (Baldo, 2007).

Segundo Rocha Filho (1996), a deflexão superficial sob o ponto de aplicação da carga depende das características do conjunto de todas as camadas do pavimento. A deflexão mais distante do centro de aplicação da carga será influenciada somente pelas características do subleito e as deflexões intermediárias serão influenciadas pelas características das camadas de base e sub-base.

Rocha Filho (1996) relata as considerações de pesquisadores italianos a respeito dos fatores que afetam a magnitude das deflexões provocadas por um carregamento do ponto de aplicação da concentração do esforço:

- Características elásticas dos materiais constituintes das camadas;
- Espessuras das camadas;
- Carga aplicada;
- Distância dos sensores ao ponto de aplicação.

A vantagem de se poder medir com acuidade a bacia deflectométrica do pavimento é poder utilizá-la para estimar os módulos de elasticidade das camadas, o que permite uma avaliação estrutural mais adequada de cada segmento e o cálculo do reforço estrutural se necessário, pelos princípios da mecânica dos pavimentos. Isso é possível através da técnica chamada de retroanálise, que será comentada sem grande detalhamento a seguir (Bernucci et al., 2007).

Os módulos de elasticidade calculados por este processo referem-se às condições *in-situ* do ensaio em termos de umidade, temperatura, densidade, estado de tensões e modo de sollicitação a que os materiais estão sujeitos (Rocha Filho, 1996).

Segundo o autor, algumas desvantagens do FWD são: o custo do equipamento, necessidade de calibrações sofisticadas, diferenças de resultados entre marcas.

5.3.2 Noções de Retroanálise

Retroanálise é um processo pelo qual, conhecendo-se as respostas em termos de deformações e tensões da estrutura real, procura-se simular uma teoria condizente com o comportamento da estrutura em questão, verificando-se para quais parâmetros, em geral, geométricos e de carregamento, que são conhecidos a priori, o modelo teórico (analítico ou numérico) consegue representar com a maior fidelidade (Balbo, 2007).

O processo de retroanálise é usado para determinar o módulo de elasticidade das camadas, utilizando o modelo estrutural para o pavimento como a Teoria de Camadas Elásticas ou o Método dos Elementos Finitos, que não serão objeto de estudo deste trabalho (Rodrigues, 2001).

“Os dados de entrada do processo de retroanálise são: a configuração do carregamento, a bacia deflectométrica, seção-tipo do pavimento, coeficientes de Poisson e faixas de valores modulares para cada camada de estrutura” (Bernucci et al., 2007).

Em relação aos procedimentos de avaliação estrutural e projeto de reforço de pavimentos flexíveis, a retroanálise dos módulos de elasticidade de um pavimento apresenta as seguintes vantagens:

- Possibilita a obtenção dos módulos de elasticidade nas condições de campo;
- Minimiza o número de sondagens para determinação das espessuras e coletas de amostras para determinação dos parâmetros desejados, que são de difícil reprodução em laboratório, além de serem onerosas e demoradas;
- Os ensaios não destrutivos são menos onerosos e menos demorados que os ensaios destrutivos;
- Possibilita o uso pleno da bacia deflectométrica.

5.4 AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS COM FWD E GPR

Avaliações de pavimentos com emprego do FWD e do GPR podem fornecer valiosas informações sobre as características de desempenho do pavimento, transformando-se em

ferramentas úteis para priorização de projetos e definição de orçamentos para manutenção e reabilitação (Noureldin, 2003).

Segundo o autor, o Departamento de Transporte do Estado de Indiana administra aproximadamente 11.000 milhas (17.702 km) de rodovias, empregando sistema de gerenciamento confiável. Esse sistema utilizava coleta de dados de forma automatizada para definição da condição da superfície do pavimento, incluindo: medidas de irregularidade, qualidade do pavimento quanto ao trincamento e trilhas de roda, micro e macrotextura da superfície e resistência. No entanto, para as avaliações das estruturas em nível de rede, utilizava métodos destrutivos para medir as espessuras das camadas e a rigidez dos pavimentos. Com o objetivo de gradualmente melhorar essa condição, desenvolveu com sucesso pesquisa utilizando o FWD e o GPR e análises baseadas nas teorias mecanicistas.

Desse modo, foram escolhidas rodovias com mesmas características de projeto, tráfego e repetição de cargas com a finalidade de pesquisar o uso do FWD e do GPR para avaliação de pavimentos em nível de rede e obter as recomendações necessárias para o futuro emprego.

Nesse contexto o estudo procurou:

- Desenvolver inventário atualizado das espessuras dos pavimentos, deflexões superficiais e características mecanicistas dos pavimentos;
- Usar os dados do inventário para investigar a variabilidade dos parâmetros estruturais e estimar a vida útil remanescente dos pavimentos, espessuras de recapeamento requeridas e analisar a confiabilidade das informações necessárias para reabilitação estrutural e estabelecer fatores de segurança para os pavimentos.

Os principais resultados e conclusões obtidas com o estudo estão sumarizados a seguir:

- O FWD e o GPR são ferramentas valiosas para emprego nas avaliações de pavimentos em nível de rede, pois fornecem uma linha de base quanto à capacidade estrutural da rede pavimentada. A geração periódica dos dados necessários para avaliação da perda de capacidade estrutural possibilita a previsão de recursos para as reabilitações necessárias no tempo adequado;

- As informações coletadas com o GPR constituem os dados de base para seleção de pontos para avaliação da resistência do pavimento usando o FWD;
- Os dados obtidos podem ser usados para elaboração de projeto, manutenção, reabilitação, bem como para as finalidades de gerência;
- Ambos os equipamentos são recomendados para uso em Sistema de Gerenciamento;
- Recomenda a avaliação periódica com o GPR e o FWD;
- O levantamento de dados com GPR é recomendado em nível de projeto e para projetos especiais;
- O GPR não elimina completamente a coleta de amostras em campo, mas ele pode estabelecer a seleção direcionada de amostras que poderiam auxiliar a análise dos dados obtidos a partir do GPR nos locais onde houver anomalias e limitações de dimensionamento de camadas;

O inventário das espessuras das camadas associado ao levantamento da capacidade estrutural dos pavimentos realizados com o GPR e o FWD demonstrou que, de modo geral, são bons os resultados das determinações estruturais dos pavimentos analisados, bem como possibilitou determinar quais trechos requeriam espessuras de recapeamento e reforço.

Mesmo que seja de forma incipiente, o uso dessas tecnologias já se encontra em estudo no Brasil, no âmbito rodoviário, com demonstração de que são perfeitamente aplicáveis com sucesso para a avaliação das estruturas dos pavimentos, podendo ser disseminada no campo aeroportuário uma vez que os conceitos gerais de pavimentos aplicam-se a ambos.

6 CONCLUSÕES

6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta apreciação sucinta dos resultados da aplicação da metodologia adotada, da consecução dos objetivos e da validação das hipóteses utilizadas. Para tal fim é sumariada a análise da evolução das tecnologias apresentadas, bem como, a aplicabilidade como ferramentas para fundamentar a gestão de pavimentos.

Também serão apresentadas algumas sugestões aos administradores de redes pavimentadas aeroportuárias, quanto à aplicação de tecnologias não destrutivas para avaliação de pavimentos, visando a reduzir a defasagem tecnológica dos aeroportos brasileiros. Essas sugestões poderão fazer parte integrante do sistema de gestão de pavimentos como método de priorização racional de investimentos e garantia de segurança e qualidade dos pavimentos das áreas de movimento dos aeroportos.

6.1.1 Tecnologia

O desenvolvimento lógico das etapas permitiu o conhecimento básico sobre pavimentos e as especificidades dos pavimentos aeroportuários que evidenciam os motivos pelos quais esses mesmos pavimentos aeroportuários precisam estar constantemente sob extrema vigilância para garantir os altos padrões de segurança para as operações das aeronaves. A continuidade da revisão bibliográfica demonstrou o estado da arte no campo da avaliação de pavimentos empregando tecnologia moderna com estudos bastante avançados nos Departamentos de Transportes de redes rodoviárias que também podem ser disseminados para uso corrente no domínio aeroportuário.

A pesquisa transcorreu no campo das tecnologias não destrutivas que, em todos os estudos que compõem a revisão bibliográfica, são considerados de extrema importância para a avaliação das estruturas dos pavimentos de modo continuado. Esses procedimentos de avaliação têm viabilidade comprovada, uma vez que promovem coletas de dados de forma rápida, precisa, utilizando menor quantidade de técnicos na sua operacionalização e ganho expressivo na qualidade das informações técnicas. Por sua vez, estas últimas são

eficientemente utilizadas para avaliações estruturais, bem como, para a elaboração de projetos de reforço e novas construções de pavimentos. A pesquisa demonstrou que os equipamentos não destrutivos, por serem de natureza analógica, não eliminam por completo o uso de métodos destrutivos, mas estes se aplicam de forma complementar e em menores proporções.

Todos os autores pesquisados relatam que os ensaios não destrutivos têm menor custo que os ensaios destrutivos. O fator custo não foi incluído no escopo desta pesquisa, no entanto, a análise determinou indiretamente essa vantagem e, acima de tudo, que o maior ganho refere-se à qualidade dos produtos obtidos a partir dos resultados oriundos da tecnologia NDT e do gerenciamento continuado de pavimentos. Os ganhos serão nitidamente revelados à medida que promoverem melhores projetos, maior e melhor desempenho dos pavimentos ao longo de sua vida útil, conhecimento das principais anomalia da estrutura, redução das manutenções preventivas e corretivas e, conseqüentemente, melhor qualidade da condição funcional dos pavimentos.

Constata-se que a aplicação das técnicas avançadas de gestão de pavimentos associada às tecnologias não destrutivas são ferramentas valiosas para o conhecimento da condição de qualidade dos pavimentos da rede aeroportuária e priorização da distribuição racional de recursos materiais e financeiros. Essa distribuição deve obedecer a regras de gestão e estar de acordo com os critérios de qualidade estabelecidos para a rede de pavimentos que, no caso de aeroportos, são internacionais e estabelecidos pelo Anexo 14 à Convenção de Chicago e documentos dele decorrentes.

O ponto de destaque da pesquisa encontra-se na aplicação conjunta dos dois equipamentos estudados GPR e FWD que, em composição, transformam-se em valiosos instrumentos para gerenciamento de pavimentos em rede e permitem conhecer as estruturas dos pavimentos em caráter continuado, desde que utilizados de modo sistêmico, aplicando a metodologia de gestão de pavimentos. Esse conhecimento permite a priorização racional dos recursos disponíveis, sejam financeiros ou de pessoal ou de meios materiais, bem como, a definição do tempo correto para sua aplicação, tendo em vista que possibilita conhecer e medir a degradação gradual a que o pavimento está sujeito considerando os efeitos das cargas do tráfego e ambientais.

No entanto, uma condição prévia deve ser observada. É fundamental realizar investimentos em treinamento e capacitação para o corpo técnico que irá trabalhar nas análises dos dados obtidos a partir desses equipamentos, uma vez que os resultados não são de conclusão imediata, exigindo de engenheiros, tecnólogos e técnicos conhecimento e sensibilidade com relação à apreciação dos resultados.

Deve ser enfatizado o fato de que as hipóteses adotadas foram comprovadas, pois se constatou que o estado da arte no campo da avaliação de pavimentos permite empregar tecnologia moderna no Brasil, a qual pode ser disseminada para uso corrente no domínio aeroportuário, com resultados valiosos, principalmente se associados à metodologia de gestão de pavimentos que promove métodos sistêmicos e consistentes para a priorização de recursos na manutenção de pavimentos.

Os objetivos propostos foram plenamente alcançados, posto que a pesquisa demonstrou os impactos da falta de metodologia na gestão de pavimentos, quando estes precisam ser continuamente vigiados quanto aos aspectos de qualidade e segurança. Identificou-se a aplicabilidade das tecnologias não destrutivas no Brasil, uma vez que elas já estão presentes mesmo que de forma incipiente, precisando apenas ser aplicadas. Por fim, atingiu o objetivo de disponibilizar meios para difundir a aplicação dessas novas tecnologias para a avaliação de pavimentos com ênfase na necessidade de aplicá-las nos pavimentos aeroportuários, em vista da urgência de se conhecer e gerenciar criteriosamente o grande patrimônio que se constitui na infra-estrutura dos aeroportos brasileiros.

A pesquisa evidenciou ainda a distância entre o estado da arte no domínio da tecnologia de pavimentos existente no mundo e a praticada no Brasil. Não obstante o insucesso de esforços anteriores, permanece a imperiosa necessidade de gerenciar não só os 67 aeroportos da rede Infraero, como também os demais aeródromos públicos brasileiros do universo de 753, especialmente aqueles em que operam vôos comerciais regulares.

6.1.2 Sugestões

Destacam-se a seguir, à guisa de recomendações, algumas importantes sugestões para a gestão aeroportuária brasileira:

- Implantação imediata de sistemas de gerenciamento de pavimentos em todas as administrações aeroportuárias em rede e projeto;
- Capacitar os gestores dos sistemas de gerenciamento de pavimentos e treinar suas equipes técnicas;
- Investir com prioridade em equipamentos de tecnologia atual para controle dos pavimentos e projetos como parte da atualização tecnológica dos aeroportos brasileiros;
- Realizar inventário da rede de pavimentos com a utilização de equipamento de alta tecnologia como, por exemplo, o GPR, aplicando métodos não destrutivos para conhecer as espessuras das camadas, a constituição dos materiais, as discontinuidades entre outras características e anomalias possíveis de detecção, como evidenciadas no desenvolvimento desta pesquisa;
- Utilizar as informações coletadas no inventário com o GPR como base para seleção de áreas a serem investigadas pelo FWD com o objetivo de conhecer a condição estrutural e a vida útil remanescentes dos pavimentos. Inicialmente, nos principais aeroportos com mesmas características de projeto, tráfego, e repetições de cargas. Estendendo, posteriormente, aos demais aeroportos da rede;
- Estabelecer critérios e requisitos de referência para o estado de conservação funcional e a condição estrutural de todos os pavimentos da rede, de modo a indicar prioridades para Programa de Gestão da Manutenção e Restabelecimento das condições funcionais e estruturais dos pavimentos;
- Utilizar os dados do inventário para catalogar as informações dos pavimentos e formar um banco de dados sistemicamente alimentado;
- Iniciar a incorporação de aeroportos ao programa de gerenciamento de pavimentos de forma gradativa para obter benefícios passo a passo, iniciando em cada aeroporto pelo inventário;
- Implantar o Sistema de Gerenciamento de Pavimentos desenvolvido especificamente para todas as redes brasileiras, levando em conta as características regionais, institucionais, do regime de exploração, extensão, malha e do tráfego em operação e demanda por movimentos de aeronaves;
- Utilizar técnicas não destrutivas para o acompanhamento executivo das novas construções de pavimentos de pistas de pouso/decolagem, táxi e pátios de estacionamento de aeronaves;

- Implantar programa de treinamento contínuo e sistêmico, voltado à capacitação e ao aprimoramento técnico dos profissionais envolvidos na atividade de engenharia de pavimentos, com a finalidade de manter o efetivo de especialistas atualizado para novas técnicas de manutenção, construção e controle, novas tecnologias e materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Terminologia e Classificação de Pavimentação – NBR 7202, 1982

AGUIAR, J.C.M – Radar de Penetração no Solo (GPR): Aspectos Geofísicos e Geodésicos, Processamento e Análise em Pavimentos Flexível – dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2005

ALEXANDER, D.R.; HALL JUNIOR, J.W. ACN-PCN *concepts for aircraft pavement management*, In: CONGRESS AIRCRAFT / PAVEMENT INTERACTION – AN INTEGRATED SYSTEM. 1991, Kansas City, MO Proceeding...New York, NY: ASCE 1991

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil – Resistência de Pavimentos Aeroportuários – IAC 157_1001, 2008

ANAC – www.anac.gov.br

APS, M, BALBOS, J. T., SEVERI, ARANTES, A. – Avaliação Superficial de Pavimentos Asfálticos em Vias Urbanas Utilizando o Método PCI - 31ª Reunião Anual de Pavimentação - São Paulo, 1998

BALBO, J.T. – Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração – Oficina de Textos, 2007

BERNUCCI, L. B., MOTTA, L. M. G.i., CERATTI, J. A.P., SOARES, J. B., *Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS; ADEBA - 2006

DANIELESKI, M. L. – Proposta de Metodologia para a Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos – Aplicação à rede viária de Porto Alegre – tese de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2004

DNIT- Departamento Nacional de Transporte-Avaliação Funcional e Estrutural de Pavimento - IP-DE-POO/003, 2006

FAA – Federal Aviation Administration – *Airport Pavement Design and Evaluation - Advisory Circular* – 150/5320-6D, 1995

FERREIRA, A., PICADO, L. S. – Gestão da Qualidade nas Redes Rodoviárias – O Estado da Arte e o Desenvolvimento Futuro, Dossier Comunicações Universidade de Coimbra, Coimbra – 2002.

FONSECA, O. A.- M.Sc. – Manutenção de Pavimentos de Aeroportos – Instituto de Logística da Aeronáutica – ILA - A -768, 1990

FONSECA, O. A.- PhD - Atividades de Gerência de Pavimentos de Aeroportos no Brasil – Retrospectiva e Perspectiva - II Reunião de Usuários de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos – Fortaleza/CE, 1998

FORTES, R. M., MERIGHI, J.V – Aeroportos – Método FAA, 1999

GONÇALVES, F. P. – Desempenho dos Pavimentos Flexíveis, 1999

GONÇALVES, F.P. , CERATTI, J.A.P. - Utilização do Ground Penetrating Radar na avaliação de Pavimentos – 31ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, 1998

ICAO – International Civil Aviation Organization – Anexo 14 – *Aerodrome – Volume I*, 1995

INFRAERO – Documentos internos, 2008

INFRAERO – Relatório Final dos Serviços de Engenharia de Consultoria Técnica e Estudos Não-destrutivos Completos de Geologia e Geotécnica sobre as Deformações no Pátio de Estacionamento de Aeronaves do Aeroporto Internacional Pinto Martins em Fortaleza- CE, 2003

INFRAERO – www.infraero.gov.br

KOHLER, E., SANTERO, N., HARVEY, J. - *Pilot Project for Fixed Segmentation of the Pavement Network* - California Department of Transportation – UC Pavement Research Center CPRC-RR-2005/11 – University of California, 2005

MARCON, F A – Avaliação de Pavimentos – notas de aula do curso de especialização em pavimentação da Universidade Federal da Bahia – UFBA, Salvador, 2008

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

NÓBREGA, E. S. – Comparação entre Métodos de Retroanálise em Pavimentos Asfálticos – tese de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), 2003

NOURELDIN, A.S, ZHU, K., Li, S., HARRIS, D – Network Pavement Evaluation with Falling-Weight Deflectometer and Ground-Penetrating Radar, Transportation Research Record 1860, 2003

PICADO, L.S., FERREIRA, A. – Estruturação de um sistema de gestão de pavimentos de uma rede rodoviária de carácter nacional. Universidade de Coimbra, 2006

RADA G.R, WITCZAK, M.W – *Aircraft Traffic Mix Analysis: Damage Factors and Coefficients* In: CONGRESS AIRCRAFT PAVEMENT INTERACTION AN INTEGRATED

SYSTEM. 1991, Kansas City MO, Proceeding... New York: ASCE, 1991

ROCHA, Filho – Estudo de técnicas para avaliação estrutural de pavimentos por meio de levantamentos deflectométricos, tese de mestrado – ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica – São José dos Campos, 1996

ROCHA, Filho – Manutenção Preventiva de Pavimentos - Um fator de Economia para as Organizações Militares, 1998

RODRIGUES, R.M – “Projeto e Gerência de Pavimentos” – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Divisão de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, São José dos Campos - SP, 2001

ROEHRS, R. A.- Estudos de Procedimentos para Avaliação dos PCN de Pavimentos Aeroportuários – tese de mestrado - ITA- Instituto de Tecnologia da Aeronáutica – São José dos Campos, 2002

SILVA, Adyr. Aerogeofísica, ECEMAR, Rio de Janeiro, 1977

SILVA, Adyr. Aeroportos e Desenvolvimento. 1ª ed., Rio de Janeiro: INCAER, 1990

VISCONTI, T. S. - O Sistema Gerencial de Pavimentos do DNER – Instituto de Pesquisas Rodoviárias Divisão de Apoio Tecnológico, 2000

WILLETT, D. A., RISTER B. – *Ground Penetrating Radar - Pavement layer thickness evaluation* – Research Report - KTC-02-29/FR101-00-1F- Kentucky Transportation Center, 2002

YODER, E. J., WITCZAK, M. W. *Principles of Pavement Design*. 2. Editora New York, NY, John Wiley and Sons, 1975

YUEJIAN, C., LABUZ, J. F.DAI, S, PANTELIS, J. - Implementation of Ground Penetrating Radar Department of Transportation Minnesota - Research (MN/RC2007-34), 2007