



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

HAIKEL BUGANEM BUSGAIB GONÇALVES

**DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE DADOS PARA CONDIÇÕES DE
ADERÊNCIA EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS**

FORTALEZA

2021

HAIKEL BUGANEM BUSGAIB GONÇALVES

DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE DADOS PARA CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA
EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

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

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda Oliveira.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G625d Gonçalves, Haikel Baganem Busgaib.
DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE DADOS PARA CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA EM
PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS / Haikel Baganem Busgaib Gonçalves. – 2021.
92 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.
1. Banco de dados. 2. Gerência de pavimentos. 3. ROC. 4. Aeroportos. I. Título.

CDD 388

HAIKEL BUGANEM BUSGAIB GONÇALVES

DESENVOLVIMENTO DE BANCO DE DADOS PARA CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA
EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

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

Aprovada em: 09/03/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Danilo Rinaldi Bisconsini
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, sabedoria primaria de tudo.

Aos meus pais Luiz e Magda e familiares pela confiança, apoio e amor que a mim foram dados.

À minha companheira Isabelle e à sua família que também sempre me apoiaram durante a jornada do mestrado.

Ao professor Heber por ter me orientado não só para esta dissertação, mas por vários passos na minha vida acadêmica e profissional.

Aos professores Mário e Danilo pela disposição de participar da banca examinadora e pelas recomendações feitas ao trabalho.

A todos os funcionários e alunos do Departamento de Engenharia de Transportes por compor um ambiente de aprendizado magnífico tanto em conteúdo como em convivência.

Aos meus amigos de infância que atenuam o amargor do dia a dia com resenhas e histórias.

À FUNCAP que ajudou no desenvolvimento deste trabalho através da concessão de bolsa de pesquisa.

À Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária (SIA) da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) pela disponibilização dos dados.

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível e, de repente, você estará fazendo o impossível.”

(Francisco de Assis)

“[...] não vos preocupeis com o dia de amanhã, pois o amanhã trará suas próprias preocupações. É suficiente o mal que cada dia traz em si mesmo.”

(Mateus 6:34)

RESUMO

Devido à trabalhabilidade insuficiente dos dados de infraestrutura aeroportuária atualmente armazenados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), e pelo seu potencial uso nas atividades de Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), esta pesquisa propõe um método de construção de um banco de dados para os parâmetros de aderência de pavimentos aeroportuários brasileiros. Para isso, foram testados relatórios de macrotextura e de coeficiente de atrito fornecidos pela ANAC, no formato *Portable Document File* (.pdf). Inicialmente, foram testados dois métodos de captação de dados: (i) com o uso do *Tesseract OCR*, um programa de Reconhecimento Óptico de Caracteres (ROC) capaz de transformar textos de imagens em arquivos editáveis; e (ii) com o preenchimento e manipulação de formulários em Microsoft Excel (.xls). Para verificar a qualidade dos dados coletados com o *Tesseract OCR*, foi proposto o uso do Índice de Qualidade de Dados (IQD). Após os testes dos métodos de captação de dados, foi desenvolvido um fluxograma contendo o ciclo de vida e a estruturação do banco de dados em questão. Durante esta fase, foram propostos um método de construção de chaves de acesso para rotular os relatórios e um sistema de caminhos de diretórios para que os dados pudessem ser acessados de forma intuitiva. Por fim, foi construída uma dinâmica de implementação do banco de dados e estabelecidas hierarquias entre os principais usuários: a ANAC, os operadores de aeródromos e as entidades de pesquisa. Apesar de se mostrar eficiente para a leitura de textos simples, o ROC apresentou IQD variando entre 0% e 98,75% ao ler elementos planilhados, o que não garantiu uma qualidade adequada aos dados coletados dessa forma. Para testar a capacidade do método dos formulários, foram utilizados algoritmos, com o uso da biblioteca Pandas, capazes de extrair os dados dos formulários e imprimi-los em arquivos no formato de texto (.txt); e de construir *datasets* em novas planilhas no formato .xls com o uso dos dados captados. Com isso, observou-se que os dados manipulados com o método dos formulários apresentam qualidade adequada. O ciclo de vida de dados proposto gerou uma base de dados organizada e sem duplicatas de chaves ou de diretórios. Diante do exposto, conclui-se que a implementação do banco de dados permitirá à ANAC obter uma ferramenta de auxílio nas ações de regulação e fiscalização, às entidades de pesquisa acesso otimizado aos dados, e aos operadores de aeródromos gerência adequada dos pavimentos sob sua responsabilidade.

Palavras-chave: Banco de dados. Gerência de pavimentos. ROC. Aeroportos.

ABSTRACT

Due to insufficient manipulability of airport infrastructure data currently stored by Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), and for its potential use in Airport Pavement Management Systems (APMS) activities, this research proposes a method of database construction for Brazilian airports pavement's friction parameters. For this, tests were made with macrotexture and surface friction reports provided by ANAC, on Portable Document File (.pdf) format. Initially, two data collection methods were tested: (i) using Tesseract OCR (Optical Character Recognition), a software capable to read texts on images and turn them into editable files; and (ii) filling and manipulating formularies in Microsoft Excel (.xls) format. To verify the quality of data collected with Tesseract OCR, the Data Quality Index (DQI) was proposed. After testing the data collecting methods, flowcharts representing the data lifecycle and the database structure were developed. During this phase, an access key labeling method and a directory path system were proposed in order to users recover data intuitively. Lastly, a dynamic for database implementation and a hierarchy system were established for the main users: ANAC, the aerodrome operators and research entities. Although efficient to read simple texts, the OCR presented DQI varying between 0% and 98,75% while reading spreadsheets, not guaranteeing a suitable data quality. To test the capacity of the formulary methods, algorithms were made using Pandas library, capable of extracting data from formularies and printing them on text files (.txt) format; and constructing datasets on new .xls spreadsheets using the collected data. Thereby, data manipulated using the formulary method presented a suitable quality. The proposed data lifecycle created an organized database without duplicate access keys or directories. Therewith, it can be concluded that the database implementation allows: ANAC to obtain an auxiliary tool for regulation and monitoring activities; data to be access optimally by the research entities; and an appropriate network pavement management for the aerodromes operators.

Keywords: Database. Pavement management. OCR. Airports.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | – Macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico | 20 |
| Figura 2 | – Representação mecânica do atrito | 21 |
| Figura 3 | – Equipamentos de medição de atrito: (a) <i>Mu-meter</i> , (b) <i>Grip Tester</i> | 22 |
| Figura 4 | – Execução do ensaio de mancha de areia para obtenção de macrotextura | 25 |
| Figura 5 | – (a) Serviços de remoção de borracha com jato de água de alta pressão e (b) efeito visual causado pela remoção de borracha | 27 |
| Figura 6 | – Componentes de um SGP | 28 |
| Figura 7 | – Exemplos de estrutura de dados linear em pilha (a) e não linear em raiz (b) | 31 |
| Figura 8 | – Exemplos de detecção e reconhecimento de (a) uma linha de base e de (b) separação de caracteres | 34 |
| Figura 9 | – (a) Imagem binarizada e invertida; (b) alterada morfologicamente com erosão e (c) com dilatação | 35 |
| Figura 10 | – Modelo básico de ciclo de vida de dados | 36 |
| Figura 11 | – Exemplo de rotação classificada como “Baixa” em relatório | 41 |
| Figura 12 | – Exemplo de contaminação por (a) grifagem (baixa) e por (b) mancha (elevada) | 41 |
| Figura 13 | – Ilustração de caminho de acesso a um relatório | 46 |
| Figura 14 | – Recorte de tela da imagem (a) original de um relatório e (b) recorte de um arquivo de texto gerado após a leitura do <i>Tesseract OCR</i> | 47 |
| Figura 15 | – Comparação de imagem de relatório (a) em estado natural, e após os (b) efeitos de erosão e (c) dilatação | 49 |
| Figura 16 | – Recorte de tela de imagem (a) do relatório grifado e do texto extraído; e (b) imagem do relatório com binarização monocromática e o texto extraído | 49 |
| Figura 17 | – Representação dos contornos definidos por visão computacional | |

| | |
|--|----|
| (representados em verde) e separação da célula para leitura | 50 |
| Figura 18 – Recorte de tela de formulário de macrotextura | 51 |
| Figura 19 – Recorte de tela de <i>dataset</i> em .txt | 51 |
| Figura 20 – Recorte de tela de parte do relatório em .pdf gerado com formulário | 52 |
| Figura 21 – Fluxograma para o ciclo de vida dos dados | 53 |
| Figura 22 – Hierarquias DIKW desenvolvidas com base nas necessidades (a) dos operadores de aeródromos, (b) da ANAC e (c) das entidades de pesquisa . | 55 |
| Figura 23 – Dinâmica da aplicação do banco de dados | 57 |
| Figura 24 – Proposição de organograma para classes de usuários | 58 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Parâmetros de coeficientes de atrito por tipo de equipamento de medição .. | 23 |
| Tabela 2 – Frequência de avaliação da condição de aderência | 23 |
| Tabela 3 – Profundidade da macrotextura | 26 |
| Tabela 4 – Exemplo de chaves associadas a registros | 32 |
| Tabela 5 – Resumo da localidade dos relatórios fornecidos pela ANAC | 40 |
| Tabela 6 – Resumo dos níveis de contaminações e de rotações | 40 |
| Tabela 7 – Dados notáveis e campos de dados encontrado em cada tipo de relatório | 42 |
| Tabela 8 – Modelos de chaves de relatórios | 45 |
| Tabela 9 – Planilha reconstruída com auxílio da biblioteca <i>Pandas</i> | 45 |
| Tabela 10 – Índice de Qualidade dos Dados obtidos com o <i>Tesseract OCR</i> | 48 |
| Tabela 11 – Chaves de acesso para dados de macrotextura e de coeficiente de atrito | 53 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ANAC | Agência Nacional de Aviação Civil |
| DIK | <i>Data, Information and Knowledge</i> |
| DIKW | <i>Data, Information, Knowledge and Wisdom</i> |
| FAA | <i>Federal Aviation Administration</i> |
| IQD | Índices de Qualidade dos Dados |
| OACI | Organização da Aviação Civil Internacional |
| PPD | pistas de pouso e decolagem |
| pdf | <i>Portable Document File</i> |
| PDI | Processamento Digital de Imagens |
| PETTRAN | Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes |
| ROC | Reconhecimento Óptico de Caracteres |
| RFT | <i>Runway Friction Tester</i> |
| SGPA | Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários |
| SFT | <i>Surface Friction Tester</i> |
| UFC | Universidade Federal do Ceará |
| VC | Visão Computacional |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Contextualização | 13 |
| 1.2 | Problema de pesquisa | 14 |
| 1.3 | Justificativa | 15 |
| 1.4 | Objetivos | 16 |
| 1.4.1 | <i>Objetivo geral</i> | 16 |
| 1.4.2 | <i>Objetivos específicos</i> | 16 |
| 1.5 | Estrutura da dissertação | 16 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 18 |
| 2.1 | Considerações iniciais | 18 |
| 2.2 | Introdução sobre pavimentação aeroportuária | 18 |
| 2.3 | Textura superficial | 20 |
| 2.3.1 | <i>Coefficiente de atrito</i> | 21 |
| 2.3.2 | <i>Macrotextura</i> | 23 |
| 2.3.3 | <i>Acúmulo de borracha</i> | 26 |
| 2.4 | Gerência de pavimentos aeroportuários | 27 |
| 2.5 | Estrutura de dados | 29 |
| 2.5.1 | <i>Estruturas de banco de dados</i> | 30 |
| 2.5.2 | <i>Classificação de dados</i> | 32 |
| 2.5.3 | <i>Aquisição de dados</i> | 33 |
| 2.5.4 | <i>Reconhecimento Óptico de Caracteres (ROC) e Visão Computacional (VC)</i> .. | 33 |
| 2.5.5 | <i>Ciclo de vida</i> | 35 |
| 2.6 | Considerações finais | 37 |
| 3 | MÉTODO DE PESQUISA | 39 |
| 3.1 | Documentos fornecidos pela ANAC | 39 |
| 3.2 | Compatibilização dos dados com o uso do algoritmo ROC | 42 |
| 3.3 | Captação de dados com o uso de um formulário em .xls | 44 |
| 3.4 | Desenvolvimento do ciclo de vida dos dados | 44 |
| 3.5 | Aplicação do banco de dados no contexto da infraestrutura aeroportuária | 46 |
| 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 47 |
| 4.1 | Teste de captação de dados com o Tesseract OCR e com o preenchimento | |

| | | |
|-------|--|----|
| | de Formulários em .xls | 47 |
| 4.2 | Aplicação do ciclo de vida para os dados | 52 |
| 4.3 | Aplicação do banco de dados na infraestrutura aeroportuária | 54 |
| 4.3.1 | <i>Contribuições para a ANAC</i> | 55 |
| 4.3.2 | <i>Contribuições para as entidades de pesquisa</i> | 56 |
| 4.3.3 | <i>Contribuições para os operadores de aeródromos</i> | 56 |
| 4.3.4 | <i>Classes dos usuários e dinâmica de implementação do banco de dados</i> | 56 |
| 5 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 59 |
| 5.1 | Principais conclusões | 59 |
| 5.2 | Principais contribuições | 60 |
| 5.3 | Principais limitações | 61 |
| 5.4 | Sugestões para trabalhos futuros | 61 |
| | REFERÊNCIAS | 63 |
| | APÊNDICE A – GUIA PARA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DOS FORMULÁRIOS EM .XLS | 69 |
| | APÊNDICE B – AMOSTRA DE RELATÓRIOS UTILIZADOS PARA OS TESTES | 72 |
| | APÊNDICE C – PROJETO CONTENDO OS CÓDIGOS DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADOS NA DISSERTAÇÃO | 73 |
| | APÊNDICE D – MODELOS DE FORMULÁRIOS DE ATRITO E DE MACROTEXTURA | 74 |
| | APÊNDICE E – RESULTADOS OBTIDOS COM A LEITURA DOS FORMULÁRIOS | 75 |
| | APÊNDICE F – DADOS ESTRUTURADOS | 76 |
| | ANEXO A – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE MACROTEXTURA FORNECIDO PELA ANAC | 77 |
| | ANEXO B – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE COEFICIENTE DE ATRITO FORNECIDO PELA ANAC | 81 |

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo contempla a contextualização, o problema de pesquisa e a justificativa desta dissertação, assim como descreve os objetivos e a estrutura em que está organizada.

1.1 Contextualização

O transporte aéreo é um dos modos de transporte responsável por facilitar à população o acesso ao lazer, ao trabalho, à saúde, à educação, dentre outros serviços essenciais. O Brasil, por apresentar dimensões continentais, necessita desse tipo de transporte para facilitar o deslocamento de pessoas e o escoamento de mercadorias.

Devido à celeridade, conforto e segurança, o transporte aéreo é o favorito para viagens interestaduais, correspondendo a 68,5% (com cerca de 87 milhões de passageiros) da demanda, frente aos 31,5% do modo rodoviário (ANAC, 2020b). Ainda segundo o órgão, a região Centro-Oeste é a que possui o maior número de decolagens por mil habitantes, atingindo à marca de 6,0, seguido do Sudeste com 4,6, Sul com 3,7, Norte com 2,7 e Nordeste com 2,5.

Quanto às infraestruturas aeroportuárias, o Brasil é o país com o segundo maior número de aeroportos do mundo, segundo a CBIE (2019), com cerca de 2.800 aeródromos dos quais 99 são aeroportos, 18 sendo internacionais e 81 nacionais. Para garantir que essas infraestruturas funcionem de forma satisfatória, Brasil (2005) instituiu a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) em substituição ao Departamento de Aviação Civil. A agência reguladora possui a missão de garantir a segurança e a excelência da aviação civil, com a competência de definir regras sobre segurança em áreas aeroportuárias e a bordo de aeronaves civis e de conceder, permitir ou autorizar a exploração de serviços aéreos e de infraestrutura aeroportuária.

Além disso, os operadores de aeródromos possuem a responsabilidade de proporcionar infraestrutura, segurança, regularidade e eficiência durante as operações de pouso e decolagem. Para tanto, devem contar com uma equipe que planeja e executa ações de manutenção e de reabilitação das infraestruturas aeroportuárias. Para que as pistas de pouso e decolagem (PPD) apresentem uma segurança operacional adequada, a ANAC (2020a) define os critérios de operação, de manutenção e de resposta à emergência. Dentre esses critérios, destaca-se, para este trabalho, o de condição de aderência, composto pelos parâmetros de

macrotextura e de coeficiente de atrito.

A medição, registro e encaminhamento desses dados à ANAC são atividades que devem ser exercidas pelos operadores de aeródromos para que a agência reguladora avalie a ocorrência segura de operações de pouso e decolagem. Diante do grande volume de aeródromos situados em território brasileiro, observa-se a dificuldade de realizar ações de fiscalização em todas as PPD. Além disso, os documentos são gerados em estado analógico ou digital com baixa capacidade de colaboração com outros softwares. Tais documentos contém dados importantes que podem servir para auxiliar no acompanhamento da condição dos aeródromos e, também, para o desenvolvimento de pesquisas e ferramentas de previsão de desempenho.

Sob esse contexto, observa-se a importância do desenvolvimento de métodos que estabelecem a organização, o processamento e a padronização desses dados. Zambetti, Pinto e Pezzotta (2019) e Fedeli, Polloni e Peres (2010) definem o ciclo de vida de dados como uma ferramenta que descreve como deve ocorrer o processamento de dados desde a captação até a destinação final. É com base nessa rotina que pode ser modelado um banco de dados de macrotextura e de coeficiente de atrito, que é uma ferramenta capaz de auxiliar as atividades de fiscalização, acompanhamento e gerenciamento de pavimentos aeroportuários, sobretudo das PPD.

1.2 Problema de pesquisa

Atualmente, o objetivo de exigir relatórios que atestam a condição de aderência das PPD por parte da ANAC, é de observar se ela é segura para as operações de pouso e de decolagem, mesmo sob condições adversas de clima. Contudo, os relatórios presentes nesses documentos podem ser utilizados para o desenvolvimento de modelos matemáticos que auxiliem nas atividades de planejamento, programação e manutenção, o que pode influenciar positivamente nas decisões tomadas pela agência reguladora e pelos operadores de aeródromos.

Para que esses modelos matemáticos sejam criados e calibrados de forma ágil e precisa, deve-se projetar um ciclo de vida que pré-processe e padronize os dados que serão utilizados. No que diz respeito à organização dos documentos armazenados pela ANAC, observa-se uma variedade de arquivos com imagens digitalizadas que dados de diferentes naturezas, datas e localidades. Para que os tomadores de decisões da agência reguladora, dos operadores de aeródromos e das entidades de pesquisa possam desenvolver informações,

conhecimentos e sabedorias úteis com esses dados, deve-se aprimorar o banco de dados atual da ANAC de forma a facilitar os processos de arquivamento e de acesso aos dados.

1.3 Justificativa

O presente trabalho torna-se justificável devido à necessidade de organizar, estruturar e aprimorar o banco de dados para macrotextura e coeficiente de atrito desenvolvido pela ANAC. Tal feito contribui não só com as atividades promovidas pela ANAC de fiscalização dos aeródromos brasileiros, mas, também, com a facilidade de obtenção de dados por parte de terceiros, como operadores de aeródromos, entidades de pesquisa, cientistas de dados, dentre outros. Um exemplo de banco produzido para facilitar o acesso e uso de dados é o desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* (FAA), que contempla dados sobre o transporte aéreo norte-americano, disponibilizando alguns desses dados para usuários com acesso livre (Federal Aviation Administration, 2018).

Além disso, existe uma escassez de bases conceituais e de referências bibliográficas nacionais e internacionais sobre a aplicação de ciência da informação e de ciência de dados para compor um banco de dados que auxilie no gerenciamento de aeródromos. Ao modelar um banco de dados, espera-se obter uma ferramenta que mostre aos usuários as condições presentes e passadas de um determinado pavimento, o que auxilia na projeção das suas condições futuras. Com uma melhor disposição desses dados, espera-se que a ANAC, os operadores de aeródromos e as entidades de pesquisa consigam produzir mais informações, conhecimentos e sabedorias úteis que contribuam para as atividades de manutenção e de reabilitação envolvidas na infraestrutura aeroportuária.

Esta dissertação também é uma consequência do projeto de pesquisa “Contribuição da Ciência, Tecnologia e Inovação ao Estudo dos Pavimentos Aeroportuários Nacionais” em vigor junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PETRAN) da Universidade Federal do Ceará (UFC). A linha de pesquisa que inspirou a produção do presente documento objetiva estruturar um banco de dados de parâmetros funcionais e estruturais a partir de levantamentos realizados em pavimentos aeroportuários brasileiros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Esta dissertação possui o objetivo geral de modelar um banco de dados capaz de auxiliar nas atividades de acompanhamento, fiscalização e manutenção das condições de aderência das pistas de pouso e decolagem brasileiras.

1.4.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, podem ser mencionados:

- a) desenvolver um método de compatibilização de dados antigos com o uso de ferramentas computacionais para que se enquadrem de modo adequado a um ciclo de vida de dados;
- b) propor um modo de captação e arquivamento de documentos e dados que ainda serão coletados e armazenados pela ANAC;
- c) compor um ciclo de vida para os dados por meio do desenvolvimento de fluxogramas que estruturam o processamento, organização e arquivamento dos dados de avaliação levantados;
- d) descrever a dinâmica de implementação do banco de dados para a ANAC, para os operadores de aeródromos e para as entidades de pesquisa.

1.5 Estrutura da dissertação

Esta dissertação foi dividida em cinco capítulos. Além deste capítulo introdutório, o Capítulo 2 consiste na descrição dos principais conceitos e definições encontrados durante a revisão bibliográfica deste trabalho, tais como a ciência de dados, a ciência da informação e a gerência de pavimentos aeroportuários.

No Capítulo 3 é detalhado o método de pesquisa desenvolvido apresentando os documentos contendo relatórios de medição de macrotextura e coeficiente de atrito, as ferramentas computacionais e os conceitos de desenvolvimento de banco de dados utilizados para gerar os resultados obtidos neste trabalho. O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, o que auxiliou no desenvolvimento de um parecer sobre a aplicação da metodologia proposta. No último capítulo estão expressas as conclusões da pesquisa desenvolvida e a síntese dos

principais resultados obtidos durante o trabalho, bem como as limitações da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica acerca de conceitos fundamentais de pavimentos aeroportuários, da influência das condições de atrito e de macrotextura das Pistas de Pouso e Decolagem (PPD) na segurança das operações do aeródromo, e de modelagem de banco de dados com uso das ciências de dados e da informação.

2.1 Considerações iniciais

Este trabalho é constituído na aplicação de conhecimentos das áreas de Ciência de Dados, Ciência da Informação e de Gerência de Pavimentos Aeroportuários. A Ciência de Dados vem sendo utilizada por várias outras áreas da ciência por relacionar dados de forma multidisciplinar com o objetivo de fornecer bases para tomadas de decisão. Áreas como ciências exatas, saúde, engenharias e, até mesmo, direito contam com ferramentas desenvolvidas com base na Ciência de dados; porém, para a engenharia de transportes, existem poucos estudos que utilizam dessa ciência para desenvolver ferramentas de assistência para as atividades de fiscalização, de acompanhamento e de gerenciamento de pavimentos aeroportuários.

A Ciência da Informação, segundo Araújo (2009), constitui um campo interdisciplinar que estuda a análise, coleta, classificação, manipulação, armazenamento, recuperação e disseminação da informação. Com isso, o autor infere a importância dessa ciência para projetar os mecanismos envolvidos na modelagem de um banco de dados eficiente.

2.2 Introdução sobre pavimentação aeroportuária

Bernucci *et al.* (2008) citam que, para dimensionar a estrutura de um pavimento, deve-se ter conhecimento do clima, do tipo e da magnitude das cargas que atuarão. Com base nesses parâmetros, devem ser selecionados os materiais e as espessuras das camadas que comporão a estrutura do pavimento. Ao dimensionar uma estrutura de forma adequada, espera-se que os esforços aplicados sobre a camada de revestimento sejam resistidos e transferidos para as camadas subjacentes causando menores deformações ao pavimento.

Barros (2008) complementa que, além de possuir uma estrutura que resista às cargas para as quais foi dimensionada é imprescindível que o pavimento aeroportuário

satisfaça aos requisitos de resistência à frenagem e derrapagem sob condições climáticas adversas e de irregularidade longitudinal. Rodrigues Filho (2006) define a hidroplanagem como o fenômeno de redução da aderência entre pneu e pavimento que ocorre devido à presença de água entre essas duas interfaces. O atrito disponível em uma pista molhada é consideravelmente inferior àquele encontrado quando a pista está seca. Isso decorre do fato de não se poder expulsar completamente a água que se encontra entre o pneu e a superfície da pista.

Para pavimentos aeroportuários, os aspectos de estrutura, de regularidade e de resistência à derrapagem são de extrema importância para garantir menor trepidação e evitar o efeito de hidroplanagem, diminuindo as chances de acidentes. Um aeroporto que preza pela manutenção dessas características em seus pavimentos proporciona segurança e conforto aos seus usuários (DURÁN, 2015).

Young e Wells (2014) dividem o aeroporto em duas zonas principais, o lado ar e o lado terra. O lado ar correspondente à área de operação das aeronaves, representada principalmente pelas PPD (*runways*), pistas de taxiamento (*taxiways*) e os pátios de estacionamento das aeronaves (*aprons*). O lado terra é constituído pelas instalações que auxiliam nas atividades de embarque e desembarque de passageiros, carga e descarga de mercadorias, estacionamentos veiculares, dentre outros.

Durán (2015) afirma que a infraestrutura da qual os pavimentos aeroportuários fazem parte é chamada de aeródromo. Conforme descreve Brasil (1986), o aeródromo é toda área destinada a pouso, decolagem e movimentação de aeronaves. Com isso, os responsáveis por essas infraestruturas aeroportuárias devem garantir segurança e conforto durante as manobras de pouso, decolagem, movimentação e estacionamento de aeronaves.

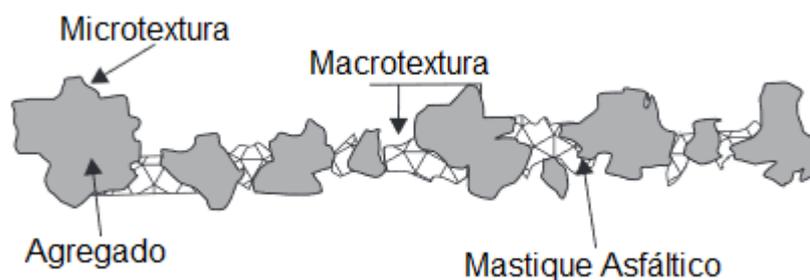
Ao realizar suas operações no aeródromo, a aeronave aplica cargas de naturezas variadas no pavimento. A magnitude da carga, a frequência e a temperatura em que ocorrem essas operações compõem os fatores determinantes de alguns critérios de projeto do aeródromo, como materiais e espessura das camadas a serem empregados durante a sua construção. Para PPD e para pistas de taxiamento, por exemplo, devido às aeronaves aplicarem cargas de natureza dinâmica, torna-se mais adequada a construção de pavimentos flexíveis. O oposto ocorre nos pátios de estacionamento das aeronaves onde as cargas aplicadas são menos dinâmicas, sendo, portanto, mais coerente o uso de uma configuração de pavimento rígido.

2.3 Textura superficial

O efetivo contato entre os pneus das aeronaves e os revestimentos das PPD é de suma importância para a garantia de segurança das operações em qualquer aeroporto, independente do seu tamanho e da sua complexidade. Essa garantia deve ser contínua e persistir, inclusive, quando os revestimentos estiverem molhados (OLIVEIRA, 2016).

Hibbeler (2010) cita que o atrito resulta da interação da rugosidade de dois corpos. Com isso, entende-se que a efetividade da frenagem de uma aeronave depende da textura dos pneus do trem de pouso e do revestimento. Bernucci *et al.* (2008) afirmam que a macrotextura corresponde a uma escala de textura superficial em que o comprimento de onda varia entre 0,50 mm e 50 mm. A Figura 1 representa graficamente a macrotextura presente em um revestimento asfáltico.

Figura 1 – Macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico



Fonte: Bernucci *et al.* (2008).

A ANAC (2020a) e a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI, 2012a) afirmam que a microtextura e a macrotextura são os principais fatores que determinam as condições de aderência da PPD. A importância de se ter uma adequada macrotextura, é de garantir resistência à derrapagem e controle direcional da aeronave durante as operações de pouso e decolagem. Para a Transport Canada (2004), ambas as características de textura de superfície podem afetar significativamente os valores de atrito medidos nas PPD, constituindo-se como um dos pré-requisitos essenciais para a manutenção de níveis satisfatórios de coeficiente de atrito.

Oliveira (2016) ressalta que, nas PPD, as condições da microtextura são irrelevantes por, geralmente, receberem aeronaves com velocidades acima de 50 km/h, sendo, nesses casos, importante a análise e manutenção da macrotextura. Devido à importância das características de macrotextura para as operações de pouso e decolagem, a OACI (2012b)

expressa a importância do desenvolvimento de critérios de qualificação operacional para os aeródromos. Tais critérios envolvem o tipo de pavimento construído e as suas rotinas de manutenção.

2.3.1 Coeficiente de atrito

As características de atrito dos pavimentos aeroportuários, especialmente nas PPD, podem afetar sobremaneira a segurança das operações das aeronaves. Dependendo das condições encontradas nesses pavimentos, uma condição de atrito deficiente pode gerar graves incidentes ou até mesmo acidentes com inúmeras vítimas fatais (OLIVEIRA, 2009).

Para a OACI (2012a), a condição de atrito do pavimento depende das condições de microtextura e macrotextura combinados. Define ainda que o coeficiente de atrito, que pode ser dinâmico ou estático, corresponde à relação entre a força tangencial necessária para manter uma velocidade relativa uniforme entre as duas superfícies em contato e a força perpendicular que as mantém em contato, representado graficamente na Figura 2.

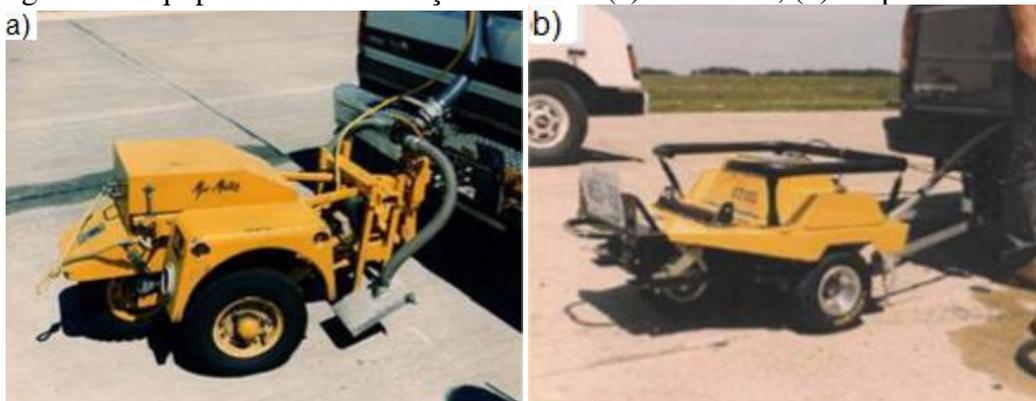


Fonte: Adaptado de Hibbeler (2010).

Existem especificações técnicas básicas para os dispositivos de medição de atrito estabelecidas pela OACI (2012a). Dentre elas, o órgão destaca a importância de os equipamentos realizarem a medição de forma contínua com uso de pneus travados ou semitravados. Além disso, cita que a velocidade de operação dos equipamentos deve estar entre 40 km/h e 130 km/h e que a medição deve ser realizada sob o pavimento seco e sob umedecimento artificial com uma película de água com pelo menos 1mm de profundidade.

ANAC (2020c) descreve vários equipamentos para a medição contínua do coeficiente de atrito, tais como o *Mu-meter*, o *Skiddometer*, o *Surface Friction Tester (SFT)*, o *Grip Tester*, o *Runway Friction Tester (RFT)* e o *Tatra*. No Brasil, destaca-se o uso do *Grip Tester* e do *Mu-meter*, descritos por Aps (2006) e apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Equipamentos de medição de atrito: (a) *Mu-meter*, (b) *Grip Tester*



Fonte: Aps (2006).

Aps (2006) especifica o *Mu-meter* com roda oblíqua como um equipamento rebocado, constituído de três rodas, sendo duas destinadas a medir o coeficiente de atrito e uma para indicar as distâncias percorridas. Contém um sistema espargidor para aplicar uma película de água de 1 mm à frente das rodas sensoras. O procedimento de determinação do coeficiente de atrito com o uso deste equipamento é descrito pela ASTM (2015b).

A Tabela 1 resume os parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição recomendados pela ANAC (2020c), admitindo-se uma tolerância de 2,5% dos valores apresentados. A ANAC (2020a) cita, ainda, que o valor de coeficiente de atrito corresponde à média aritmética das medições obtidas em cada extensão de 100 m, no mesmo lado e distância em relação ao eixo da PPD.

A FAA (2007) cita que a frequência das avaliações das condições de aderência dos pavimentos aeroportuários deve ser proporcional à quantidade de pousos diários para cada PPD. Tais especificações pouco diferem das de ANAC (2020a) quanto à frequência de avaliação e estão expressas na Tabela 2.

Apesar dos métodos de medição do coeficiente de atrito com contato serem largamente utilizados no Brasil e em outros países, Edmondson *et al.* (2019) citam que a sensibilidade à temperatura da borracha do pneu dos equipamentos e do pavimento causa alterações nos resultados de coeficiente de atrito, sendo suscetível a variações dependendo das condições de clima. Sales (2019) complementa afirmando que, além desses fatores, o tipo do

revestimento também interfere na medição do coeficiente de atrito.

Tabela 1 – Parâmetros de coeficientes de atrito por tipo de equipamento de medição

| Equipamento | Pneu | | Velocidade do ensaio (Km/h) | Coeficiente de atrito | |
|--|------|---------------|-----------------------------|-----------------------|--------------|
| | Tipo | Pressão (KPa) | | Nível de Manutenção | Nível Mínimo |
| <i>Mu-meter</i> | A | 70 | 65 | 0,52 | 0,42 |
| | A | 70 | 95 | 0,38 | 0,26 |
| <i>Skiddometer</i> | B | 210 | 65 | 0,60 | 0,50 |
| | B | 210 | 95 | 0,47 | 0,34 |
| <i>Surface friction tester vehicle</i> | B | 210 | 65 | 0,60 | 0,50 |
| | B | 210 | 95 | 0,47 | 0,34 |
| <i>Runway friction tester vehicle</i> | B | 210 | 65 | 0,60 | 0,50 |
| | B | 210 | 95 | 0,54 | 0,41 |
| <i>Tatra</i> | B | 210 | 65 | 0,57 | 0,48 |
| | B | 210 | 95 | 0,52 | 0,42 |
| <i>Grip tester</i> | C | 140 | 65 | 0,53 | 0,43 |
| | C | 140 | 95 | 0,36 | 0,24 |

Fonte: ANAC (2020c).

Tabela 2 – Frequência de avaliação da condição de aderência

| Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano | Frequência de Medições de atrito |
|---|----------------------------------|
| Menor que 16 | Cada 360 dias |
| Maior ou igual a 16 e menor que 31 | Cada 180 dias |
| Maior ou igual a 31 e menor que 91 | Cada 90 dias |
| Maior ou igual a 91 e menor que 151 | Cada 60 dias |
| Maior ou igual a 151 e menor ou igual a 210 | Cada 30 dias |
| Maior que 210 | Cada 15 dias |

Fonte: ANAC (2020a).

2.3.2 Macrotextura

A macrotextura refere-se à textura do revestimento considerando o conjunto de agregados e de ligante na mistura asfáltica. Diferente da microtextura, a macrotextura pode ser julgada a olho nu porque é primariamente composta pelo tamanho dos agregados usados na mistura asfáltica ou por tratamentos realizados na sua superfície. Mallick e El-Korchi (2009) e OACI (2012a) asseguram que a macrotextura é de suma importância para a segurança das operações de pousos e decolagens devido às altas velocidades desenvolvidas

pelas aeronaves durante essas operações, além de providenciar a drenagem durante as ocorrências de chuvas. Os autores também afirmam que o tipo de ligante asfáltico utilizado na composição da mistura pode afetar a macrotextura do pavimento.

Uma aderência eficiente entre pneu e pavimento pode ser obtida por meio de uma boa macrotextura. A macrotextura é associada à rugosidade do conjunto ligante asfáltico e agregados assim como à capacidade de drenagem do pavimento que fornece canais de escoamento da água conferindo ao pavimento a rugosidade necessária para a circulação das aeronaves (OACI, 2012a).

Flintsch *et al.* (2003) afirmam que existem vários métodos de medida de macrotextura e que podem ser caracterizados como de medição estática ou dinâmica. Pranjić *et al.* (2020) complementam afirmando que os métodos de medição estáticos são baseados na estimativa volumétrica da macrotextura com base na área coberta com determinada massa de um material espalhado, que pode ser graxa (ISO, 2019), areia (ANAC, 2020c), esferas de vidro (ASTM, 2015a) ou água com uso do drenômetro (ASTM, 2019). As medições dinâmicas são caracterizadas por detectar a textura superficial do pavimento com o uso de equipamentos de reconhecimento óptico com tecnologia a laser. Ambos os métodos fornecem a profundidade e o tipo de textura do pavimento.

A ANAC (2020a) recomenda o uso do ensaio estático de medição de macrotextura pela profundidade média da altura da mancha de areia. ANAC (2020c) explica que o ensaio determina a profundidade média da altura da mancha de areia formada entre os picos e as depressões da textura da superfície por meio do espalhamento circular e homogêneo de um volume de 24 cm³ de areia com granulometria contida entre as peneiras nº 50 e nº 100 sobre a superfície do pavimento que será avaliado auxiliando-se de um espalhador com base circular emborrachada, conforme ilustrado na Figura 4. Após o espalhamento da areia sobre a superfície, é medido o diâmetro do círculo formado e calculada a área da mancha de areia por meio da Equação 1.

$$H_s = 4V/(\pi d^2) \quad (1)$$

em que:

H_s é a altura média da mancha de areia em mm;

V é o volume constante de areia;

d é a média de três medições (em direções distintas) do diâmetro da mancha de areia em mm.

Figura 4 – Execução do ensaio de mancha de areia para obtenção de macrotextura



Fonte: Oliveira (2009).

A maior parte das agências reguladoras recomendam valores de macrotextura entre as profundidades média e aberta para os operadores de aeródromos utilizarem como referência nas suas estratégias de manutenção dos pavimentos (OLIVEIRA, 2016). A ANAC (2020a) exige que a profundidade média de macrotextura seja maior ou igual a 0,60 mm e define as possíveis classificações conforme apresentado na Tabela 3. Os dados obtidos no ensaio de determinação de macrotextura devem ser escritos em relatório padronizado, conforme estabelecido pela ANAC (2020c) e deve seguir a periodicidade indicada na Tabela 2.

White (2018) e Edmondson *et al.* (2019) contestam a confiabilidade dos resultados obtidos com o ensaio de medição da macrotextura pelo método da mancha de areia devido à sua forma de aplicação pontual e contatual. Com isso, os autores recomendam o uso de ferramentas de escaneamento de textura a laser ou por uso de Processamento Digital de Imagens (PDI). Sousa (2018) descreve que existe uma correlação adequada entre os métodos de medição de macrotextura pela mancha de areia e com uso de PDI, apresentando coeficientes de determinação variando de 0,81 a 0,87.

Tabela 3 – Profundidade da macrotextura

| Profundidade (mm) | Classificação |
|--------------------------|----------------------|
| $P \leq 0,20$ | Muito fechada |
| $0,20 < P \leq 0,40$ | Fechada |
| $0,40 < P \leq 0,80$ | Média |
| $0,80 < P \leq 1,20$ | Aberta |
| $P > 1,20$ | Muito Aberta |

Fonte: ANAC (2020a).

Com o objetivo de acompanhar a condição dos aeródromos do Brasil, a ANAC (2020a) solicita aos operadores de aeródromos que apresentem relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito regularmente. Os relatórios devem ser padronizados conforme instruído pela ANAC (2020c) e são recebidos pelo órgão em formato de arquivo *Portable Document File* (.pdf), armazenados em um banco de dados não disponível de forma aberta.

Por sua vez, Sales (2019) e Quariguasi, Oliveira e Reis (2019) afirmam que encontraram limitações ao realizar suas pesquisas, pois o formato em que os documentos se encontram, constituídos de .pdf contendo imagens, dificulta o processo de captação dos dados contidos nos relatórios. No Capítulo 3 desta dissertação serão descritas as características desses documentos que contém os relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito.

2.3.3 Acúmulo de borracha

Segundo a FAA (2007), a alta velocidade das aeronaves durante as operações de pouso e decolagem resultam no desgaste dos pneus do trem de pouso. A borracha residual dessas operações tende a se acumular nas texturas das PPD, o que pode afetar o coeficiente de atrito e a drenagem superficial do pavimento. Chen *et al.* (2008) destacam que o acúmulo excessivo de borracha cobre as texturas do pavimento causando perda de capacidade de frenagem e de controle de direção enquanto a PPD encontra-se molhada. Oliveira (2009) complementa afirmando que a textura lisa pode ser associada à fatores como a impregnação da borracha dos pneus das aeronaves nas zonas de toque das pistas de pouso e decolagem.

A ANAC (2020a) recomenda que a remoção de acúmulo de borracha deve ser executada quando afetar as condições adequadas de aderência da pista de pouso e decolagem ou com a mesma periodicidade dos ensaios de macrotextura e de coeficiente de atrito. Com isso, entende-se que esses ensaios possuem também a utilidade de validar a eficiência das

ações de manutenção realizadas para a adequação da textura do pavimento.

Dentre os modos de remoção de borracha da textura de pavimentos aeroportuários, a FAA (2007) cita o hidrojateamento a alta pressão. O método consiste na aplicação de água com pressões variando entre 100 e 1000 bar com o auxílio de dispositivos rotativos. A água pressurizada penetra na superfície, limpando efetivamente a borracha acumulada, cria um efeito que tende a reestabelecer os valores de atrito e de textura originais do pavimento. A Figura 5 ilustra a execução de um serviço de remoção de borracha com o hidrojateamento a alta pressão e o efeito visual causado pela remoção de borracha.

Figura 5 – (a) Serviços de remoção de borracha com jato de água de alta pressão e (b) efeito visual causado pela remoção de borracha.



Fonte: Oliveira (2009).

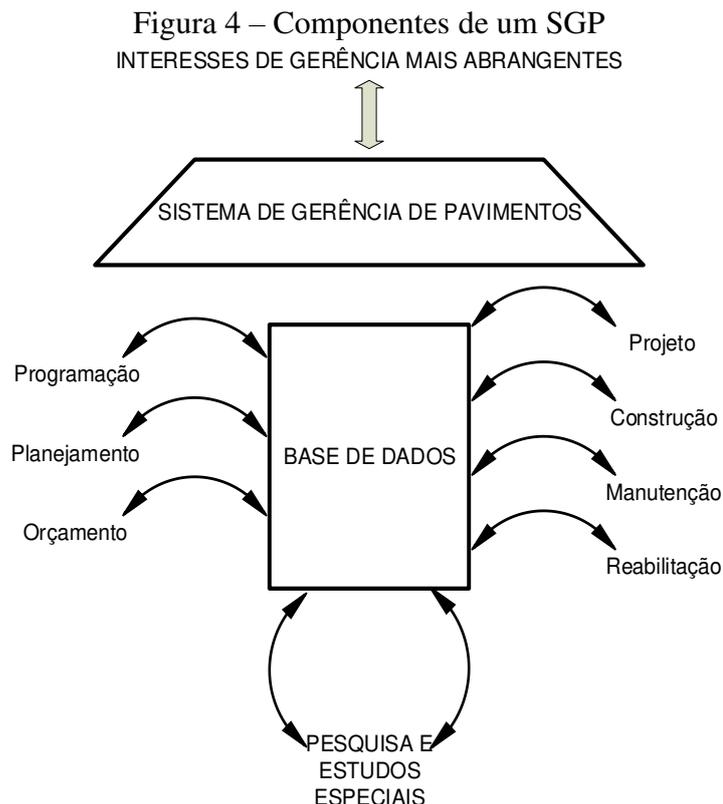
2.4 Gerência de pavimentos aeroportuários

O gerenciar pavimentos, em seu sentido mais amplo, inclui todas as atividades envolvidas no planejamento, no projeto, na construção, na conservação, na restauração e na avaliação dos pavimentos que fazem parte de uma infraestrutura viária, seja ela rodoviária, aeroportuária ou urbana (ANAC, 2017). Para Durán (2015), a gerência de pavimentos visa a obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários. Representam, ainda, a possibilidade de avançar de um esquema de manutenção baseado apenas na correção de problemas para um sistema de manutenção planejada, capaz de prolongar a vida útil e garantir padrões mínimos de serviço em toda a rede.

Por isso, adotar um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) em uma rede de pavimentos aeroportuários contribui também para a garantia da segurança das operações que ocorrem no lado ar do aeroporto. Dos parâmetros que norteiam as tomadas de decisão

apontadas pelos Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), destaca-se, para esta pesquisa, os indicadores de avaliação funcional, que visam verificar o conforto ao rolamento e a segurança dos pavimentos avaliados. A ANAC (2017) cita que esses indicadores podem ser obtidos por meio de medições objetivas acerca das características atuais do aeródromo, como irregularidade longitudinal, defeitos no pavimento, macrotextura e coeficiente de atrito.

Dentre os componentes de um SGP, apresentados na Figura 6, Haas, Hudson e Zaniewski (1994) citam o banco de dados como um componente crucial para o sucesso de sua implementação. Para os autores, as informações contidas em um banco de dados contribuem para o desenvolvimento de modelos de previsão que podem auxiliar os gerentes em suas tomadas de decisão tanto em nível de rede como em nível de projeto. O processamento dos dados coletados deve gerar informações que satisfaçam as necessidades do gestor, e, para isso, deve-se realizar uma triagem dos dados que são relevantes ou não para cada análise.



Fonte: Adaptado de Haas, Hudson e Zaniewski (1994).

A ANAC (2017) complementa que, para que se tenha um SGPA eficiente, deve-se desenvolver um banco de dados com o máximo de informações úteis possível, principalmente sobre o inventário de rede, composto pelos seguintes dados: histórico de tráfego, histórico de

condição funcional do pavimento, histórico de condição estrutural do pavimento e custos das alternativas de manutenção e reabilitação. Neste trabalho serão abordados os dados de macrotextura e de atrito, que representam parcialmente a condição funcional do pavimento.

A construção de um banco de dados robusto auxilia os gestores na escolha de alternativas e na programação das atividades de um SGPA. Meneses e Ferreira (2012), por exemplo, afirmam a importância do uso de dados históricos para o desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho e de custo de ciclo de vida de pavimentos. Quariguasi, Oliveira e Reis (2019) dissertam sobre a importância da obtenção de dados para o desenvolvimento e calibração de modelos de previsão desenvolvidos com base em redes neurais artificiais. NordFoU (2009) complementa afirmando que a quantidade de dados que compõem um modelo de previsão de desempenho influencia diretamente na sua precisão, o que otimiza as tomadas de decisão e a alocação de recursos.

Considerando a importância do banco de dados como ferramenta de observação da condição de uma malha de pavimentos aeroportuários, a FAA (2018) mantém uma base com diversos tipos de dados, tais como tráfego, geometria, estrutura, dentre outras, que podem ser acessados por qualquer usuário com acesso imediato. Em contrapartida, Quariguasi, Oliveira e Reis (2019) explicam que a ANAC mantém um banco de dados de macrotextura e de coeficiente de atrito que se encontra disponível de forma indireta à população. Os autores complementam que os dados podem ser acessados quando solicitados via lei de acesso à informação decretada por Brasil (2011).

2.5 Estrutura de dados

Para que se possa entender os conceitos de estruturação e organização de dados, deve-se, primeiro, assimilar a definição de dado, de informação, de conhecimento e de sabedoria. Gomes, Pimenta e Schneider (2019) descrevem dados como o registro do atributo de um ente, objeto ou fenômeno. O termo “dado” geralmente é considerado como a base da hierarquia DIKW (*Data, Information, Knowledge and Wisdom*) para o qual informação é entendida como dado processado, conhecimento como informação processada ou interpretada e sabedoria como conhecimento interpretado (HJØRLAND, 2018). Fedeli, Polloni e Peres (2010) citam que a qualidade com que os dados são captados e organizados é de vital importância para que se possa extrair informações que contribuam para a tomada de decisões importantes.

Segundo Semidão (2013), o termo informação está estreitamente ligado ao

conhecimento e à comunicação, remetendo a um processo cognitivo, seja ele positivo ou negativo. Conforme afirma Choo (2003), a informação é fabricada por indivíduos a partir de sua experiência passada e de acordo com as exigências de determinada situação na qual a informação deve ser usada. Davenport e Prusak (1998) definem informação como dados dotados de relevância e propósito que exige consenso em relação ao significado e mediação humana.

O conhecimento é definido por Semidão (2013) como uma informação processada pela mente, ou seja, é a representação e assimilação da informação por meio de dados, informação, noção e ciência. Laranjeiras (2020) exemplifica o conhecimento como o entendimento de um determinado paciente estar com gripe após observar que ele se encontra em estado febril (informação) após constatar que a sua temperatura corporal é de 37,8 °C (dado). Por sua vez, o conceito de sabedoria se assemelha ao do conhecimento. Rowley (2007) explica que a sabedoria pode ser usada para incrementar a efetividade do conhecimento proporcionando o entendimento do que pode acontecer no futuro com base no presente e no passado. Além disso, a autora descreve a sabedoria como uma mistura de informações, entendimentos, capacitações, experiências, habilidades e valores, sendo exclusiva da natureza humana.

Martins (2009) utiliza de construtos com base em hierarquias DIKW para definir métodos de redução de custo e desperdícios envolvidos na construção civil. Para o autor, essa ferramenta de gestão do conhecimento auxilia na transformação cíclica de dados em sabedorias e de sabedoria em dados, que promove o aprendizado dos indivíduos e da organização em que ele atua. Isso ocorre por meio da concretização de modelos de um âmbito de trabalho que são desenvolvidos com uma base de dados, calibrados com novos dados e validados com os resultados provenientes do uso desse modelo.

Remor, Fialho e Queiroz (2017) explicam que, dependendo da relevância dos dados levantados e da vivência dos tomadores de decisão, um conjunto de dados se limita à construção de informação e de conhecimento. Sob essa ótica, as possíveis sabedorias desenvolvidas com esse dado assemelham-se às características do conhecimento, limitando a hierarquia a *DIK (Data, Information and Knowledge)*.

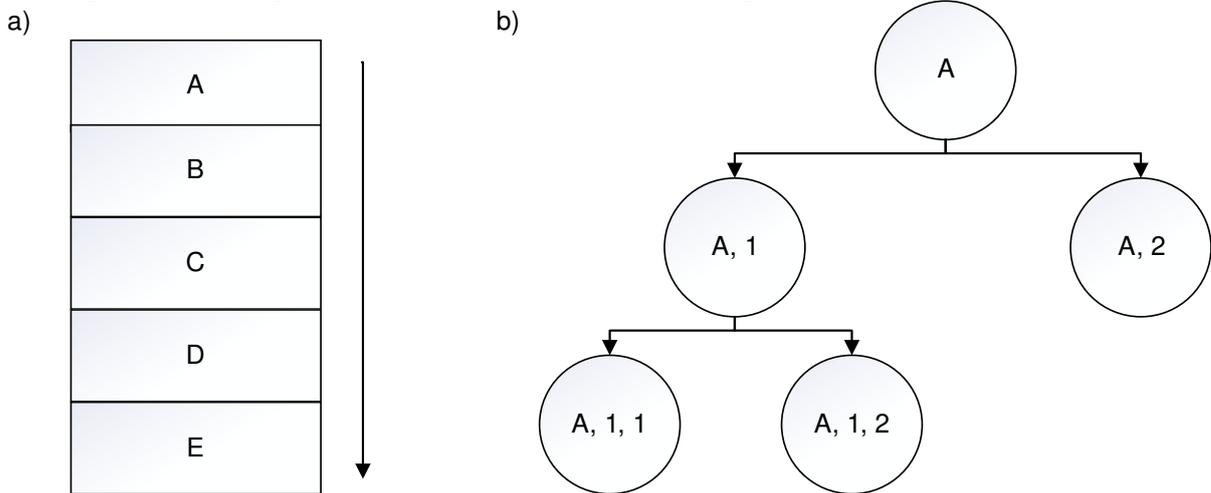
2.5.1 Estruturas de banco de dados

O banco de dados pode ser definido como um conjunto de dados estruturados adequadamente para ser utilizado de forma eficiente por uma diversidade de aplicações

(FEDELI; POLLONI; PERES, 2010). Para que os dados possam ser processados até fornecer uma sabedoria, é importante que exista um sistema ou ferramenta que organize e processe esses dados, facilitando as atividades de busca e acesso. Para isso, Cormen *et al.* (2009) recomendam o desenvolvimento de uma estrutura de dados que seja compatível com o conjunto de dados à qual será aplicada.

As estruturas de dados podem possuir uma natureza linear, que segundo Song (2008), pode ser definido como um conjunto de elementos cuja propriedade estrutural envolve as suas posições relativas, ou não lineares, definida por Cormen *et al.* (2009) como um conjunto de dados conectados por nós, podendo assim possuir mais de um dado antecessor ou sucessor. A Figura 7 ilustra exemplos de estrutura de dados lineares e não lineares.

Figura 5 – Exemplos de estrutura de dados linear em pilha (a) e não linear em raiz (b)



Fonte: Adaptado de Cormen *et al.* (2009).

Dentre os tipos de estruturas de dados não lineares, a linguagem de programação *Python* apresenta o dicionário, ferramenta descrita pela *Python Software Foundation* (2020) como uma matriz que indexa chaves a valores. O dicionário permite o registro de conjuntos de caracteres, números, listas ou até mesmo outro dicionário atribuindo a eles uma chave que facilita a sua identificação e acesso. Cormen *et al.* (2009) citam ainda que as estruturas de dados não lineares possuem uma hierarquia de dados, simbolizando que os dados no topo da hierarquia são possuidores de dados de posições inferiores.

Registrar dados atribuindo chaves colabora para a organização dos dados, facilitando seu acesso quando se depara com um grande volume de dados. Para Ribeiro (2013), registrar um dado é atribuir um conjunto de itens a uma série de atributos pertencente à uma determinada entidade. Gomes, Pimenta e Schneider (2019) afirmam que o registro pode

ser compreendido como a gravação ou impressão de caracteres ou símbolos que tenham um significado em algum documento ou suporte físico. Para facilitar o acesso ao conjunto de dados registrado deve-se atribuir uma chave para cada registro, conforme os exemplos da Tabela 4.

Tabela 4 – Exemplo de chaves associadas a registros

| Registro | Chave |
|---------------------------|-----------------------|
| Registro de Notas Fiscais | Número da Nota Fiscal |
| Registro de Funcionários | Número do Funcionário |
| Registro de Produtos | Número do Produto |
| Registro de Automóveis | Número do Chassi |

Fonte: Adaptado de Fedeli, Polloni e Peres (2010).

2.5.2 Classificação de dados

Ribeiro (2013) afirma que o campo de dados constitui uma unidade básica de informação. Para que se tenha uma organização dessas unidades básicas, deve-se designá-las uma entidade, que pode ser representada por objetos, como um veículo, e atributos que estariam relacionados à dados como a placa, a cor e o modelo do veículo. Além disso, Carvalho (2005) demonstra que estudar a organização e a classificação dos dados é essencial para que se possa realizar uma mineração de dados segura e precisa.

Fedeli, Polloni e Peres (2010) descrevem distinções entre tipos de dados de forma a caracterizar melhor cada um desses campos:

- a) dados principais: são dados que devem ser armazenados de forma estruturada para facilitar o seu processamento. Trata-se dos dados que motivam o desenvolvimento do banco de dados e que devem ser trabalhados para que possam desenvolver informações, conhecimentos e sabedorias;
- b) dados de estrutura: representam a forma como os dados encontram-se organizados. O entendimento desse campo é importante para que, durante o desenvolvimento de algoritmos, seja possível a importação de dados por linha de comando. Além disso, os dados de estrutura devem auxiliar os desenvolvedores no entendimento de como os dados estão organizados;
- c) dados de índice: são referências associadas às chaves que são utilizadas para facilitar a busca de um registro ao efetuar uma consulta. São geralmente representadas por números em contagem ordenada e crescente;

- d) dados de controle: geralmente utilizado pelos desenvolvedores do banco de dados, para identificar quem utilizou o banco de dados, os tipos de operações que foram efetuadas, o horário de acesso, dentre outros. A principal função dos dados de controle é de facilitar a observação de como o banco de dados é operado, facilitando, dessa forma, ações de auditoria;
- e) dicionário de dados: trata-se de um conjunto de tabelas que pode ser utilizada para consulta ou leitura e que possui dados previamente armazenados. É essencialmente uma base de dados que poderá ser processada pelo banco de dados, podendo ser complementada e alterada.

2.5.3 Aquisição de dados

Denominada também como fase de coleta, consiste em adquirir os dados dispostos em uma determinada fonte. Sant'ana (2016) ressalta que as fases de criação e aquisição de dados são distintas, visto que a primeira pode acontecer fora do controle dos usuários do banco de dados e a segunda trata sobre o processo de coleta desses dados. O autor afirma que a estruturação de um repositório de dados deve considerar a difícil tarefa de identificar fontes de dados úteis para que os usuários possam ter suas necessidades atendidas. Considera ainda que as fontes devem proporcionar dados que possuam uma qualidade adequada, ou seja, que representem a realidade dos objetos de estudo com maior fidelidade.

A qualidade da obtenção dos dados depende de vários fatores, desde a fonte que o produz à forma de como são captados. Com isso, Sant'ana (2016) afirma que o processo de coleta de dados, quando ocorre com o uso de ferramentas (Câmeras, Microfones, etc.), tende a fornecer dados de qualidade inferior. Um exemplo disso é o uso de algoritmos de Reconhecimento Óptico de Caracteres (ROC) para captar textos contidos em imagens, tornando-os editáveis.

2.5.4 Reconhecimento Óptico de Caracteres (ROC) e Visão Computacional (VC)

Para Bunke e Wang (1997), ROC (do inglês, *Optical Character Recognition*, *OCR*) é um método de transformação de textos manuscritos, datilografados ou impressos para textos computacionais codificados. Os autores citam, ainda, que o ROC é uma área de pesquisa importante dentro do reconhecimento de padrões que surgiu na década de 1930. Desde então, várias pesquisas envolvendo o uso do ROC vem sendo desenvolvidas em

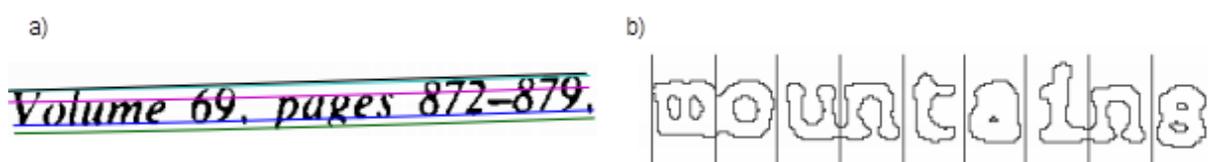
inúmeros setores de produção, tais como segurança, correio, bancário, arqueológico, dentre outros.

Robby *et al.* (2019) reconhecem o uso de algoritmos ROC como uma técnica de converter imagens impressas ou escaneadas em documentos de texto editáveis. Para tal, os autores utilizaram um *software* denominado *Tesseract OCR* por possuir um mecanismo de aprendizado de máquina capaz de ler textos de diferentes fontes e línguas. Para validar a capacidade do ROC, Robby *et al.* (2019) calcularam o índice de acurácia (A) obtido nas leituras dos algoritmos, que pode ser determinado pela relação entre o número de acerto de caracteres (C) e o número total de caracteres (T) em uma determinada amostra, conforme demonstrado na Equação 2.

$$A = C/T \quad (2)$$

Tesseract OCR é um *software* de ROC desenvolvido pela *HP Labs Bristol* e mantido, atualmente, pela Google (2007). O seu funcionamento consiste na detecção de linhas com caracteres, no reconhecimento de suas linhas de base e na leitura de caracteres, conforme representado na Figura 8. Além disso, o *Tesseract OCR* pode ser utilizado com um aprendizado de máquina para reconhecer palavras e caracteres de diversas línguas, fontes e alfabetos, o que aprimora a sua capacidade de leitura.

Figura 6 – Exemplos de detecção e reconhecimento de (a) uma linha de base e de (b) separação de caracteres



Fonte: Adaptado de Google (2007).

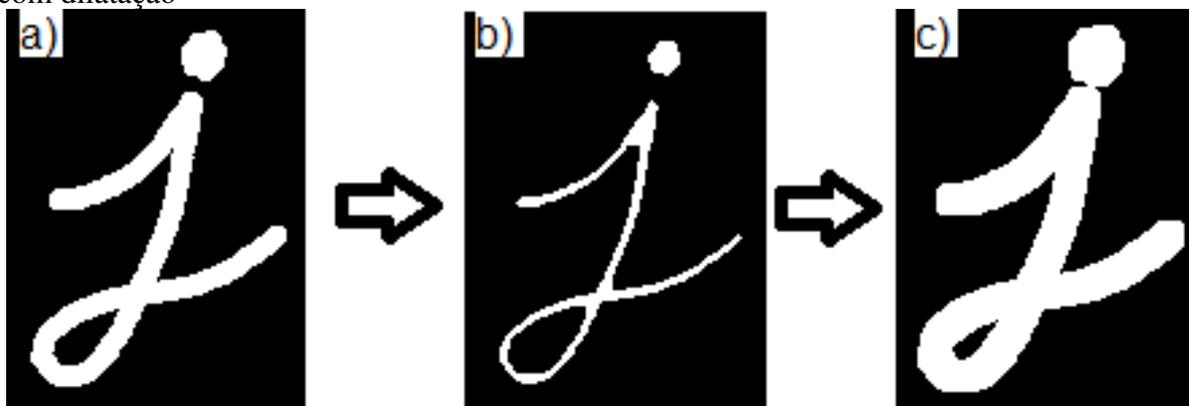
No presente trabalho foi adotado o uso do *Tesseract OCR* para a leitura dos relatórios por ser um *software* de disponibilidade aberta e por ser um dos mais utilizados na atualidade. Google (2007) descreve que, para que se tenha um adequado funcionamento do *Tesseract OCR*, a imagem deve conter somente dois canais de cores (preto e branco), texto alinhado e padronizado sem ocorrência de contaminações ou ruídos tais como riscos e manchas, espaço ocupado dos caracteres maior que 10 pixels, densidade de 300 dpi, possuir o texto extraível em um único alfabeto ou idioma e com o mínimo possível de espaços em

branco.

A Visão Computacional (VC), quando aliado a uma ferramenta de ROC, permite a manipulação das imagens estudadas e adaptá-las às condições de exigência do ROC, podendo aprimorar os resultados obtidos em suas leituras. Para Crowley e Christensen (1995), a VC (do inglês *Computer Vision*, ou CV) é a área da ciência da computação que estuda e atua no desenvolvimento de teorias e metodologias voltadas à obtenção automática e manipulação de informações pertinentes contidas em imagens. Com ela, é possível pré-processar a imagem que contém um texto melhorando a capacidade de leitura obtida com o ROC por meio de transformações morfológicas na imagem, tais como erosão, dilatação e binarização.

A erosão, segundo *OpenCV* (2013), consiste na alteração de valor de uma camada de *píxeis* que compõem o contorno de uma imagem binarizada, que acarreta na redução do tamanho do seu contorno. Por sua vez, a dilatação propõe o oposto da erosão, alterando a camada de *píxeis* mais próxima de um determinado contorno de uma imagem binarizada. Na Figura 9 encontram-se a representação de como funciona o processo de dilatação e erosão de uma imagem.

Figura 7 – (a) Imagem binarizada e invertida; (b) alterada morfolologicamente com erosão e (c) com dilatação



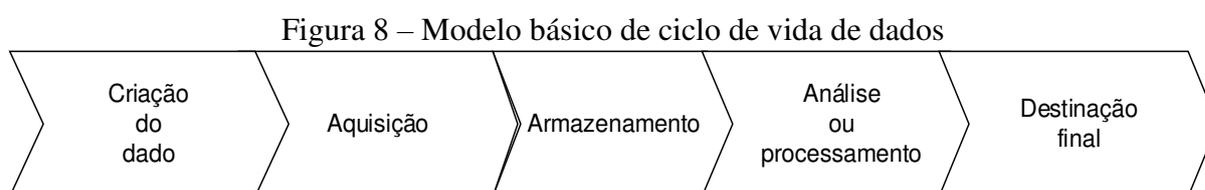
Fonte: Adaptado de OpenCV (2013).

2.5.5 Ciclo de vida

A escolha de um gerenciador de banco de dados que atenda às necessidades do usuário é relevante para que um sistema seja eficiente. Com uma modelagem do ciclo de vida dos dados adequada, espera-se extrair informações que possuam qualidade suficiente para a tomada de decisões dos usuários. Para isso, o arquivo deve ser construído com qualidades a respeito da sua veracidade, da rapidez e facilidade da sua recuperação, da facilidade para sua atualização e do espaço que deverá se dispor para o seu armazenamento (FEDELI, POLLONI

E PERES, 2010).

Fox (2014) cita a importância da definição de um ciclo de vida quando deseja-se trabalhar com dados por facilitar na aquisição, na cura e na preservação da segurança do dado. Zambetti, Pinto e Pezzotta (2019) demonstram que o ciclo de vida de um dado é composto da criação, aquisição, armazenamento e análise dos dados, podendo os produtos gerados nesse processo serem, posteriormente, armazenados de forma a satisfazer aos usuários. A Figura 10 apresenta um modelo básico de ciclo de vida de dados, que pode ser modificado conforme as necessidades do usuário.



Fonte: Zambetti, Pinto e Pezzotta (2019), Adaptado.

A criação do dado é a etapa em que ocorre o “nascimento” do dado. O estudo desse processo é importante por auxiliar na previsão de quais métodos serão abordados na programação de algoritmos durante a etapa de processamento do dado. A aquisição ou coleta é o passo no qual o dado será coletado para armazenamento. Zambetti, Pinto e Pezzotta (2019) consideram esta fase a mais importante do ciclo de vida dos dados pois definirá a qualidade dos dados que serão armazenados. Nesta fase, os dados podem ser pré-analisados para que se possa definir o seu nível de importância para os usuários e, posteriormente, gerar informações que auxiliarão nas tomadas de decisão.

O armazenamento é a fase em que o dado é armazenado em um sistema que permitirá o seu acesso e modificação. O dispositivo de armazenamento deve conter diretórios que estruturam o banco de dados, seja ele em formato de pilha ou raiz. Ribeiro (2013) complementa que um armazenamento eficiente é importante para a sua interação com o usuário, garantindo fácil inserção, remoção, alteração e consulta dos dados.

A análise ou processamento, segundo Zambetti, Pinto e Pezzotta (2019), pode ser realizada com diferentes abordagens, dependendo dos interesses do autor. A análise pode ser realizada de forma automática, com metodologia predefinida, com o uso de algoritmos de aprendizado de máquina e pode até incluir o *input* de usuários. Por fim, a destinação final é a fase em que os dados estarão dispostos para serem acessados por terceiros, ou seja, como os *datasets* (em português, conjunto de dados) estarão dispostos para serem utilizados pelos usuários.

Para que o ciclo de vida dos dados possa ser executado e aprimorado ao longo do tempo, deve-se contar com a participação de diversos usuários. Sanches (2005) define as diferentes classes de usuários e como elas colaboram com a aplicação do ciclo de vida dos dados conforme apresentado na hierarquia a seguir:

- a) programadores: tratam-se de usuários que tem acesso direto ao algoritmo do banco de dados e possuem a função de atender às necessidades dos demais usuários. Apesar de não estarem vinculados ao uso direto dos dados armazenados, os programadores são os usuários de maior hierarquia do banco de dados e possuem acesso a todas as suas funcionalidades, possibilitando a execução de testes e criação de novas funcionalidades;
- b) usuários de alto nível: interagem diretamente com os programadores para expressar as suas necessidades institucionais e propor ideias acerca da funcionalidade do algoritmo e do banco de dados. Apesar de não participarem diretamente na escrita dos códigos de programação, podem acessar todos os dados e funções do banco de dados. Os usuários de alto nível devem possuir habilidade técnica para entender a motivação da existência do banco de dados e idealizar a sua funcionalidade no presente e no futuro;
- c) usuários especializados: possuem a função estritamente técnica de acessar os dados e funções do banco de dados. Diferente dos usuários de alto nível, o usuário especializado não idealiza nem sugere alterações na funcionalidade do ciclo de vida dos dados, mas utiliza os dados para satisfazer às necessidades técnicas propostas;
- d) usuários não especializados: possuem o acesso ao banco de dados, mas não apresentam capacidade técnica de manipular os dados e nem de modificar as suas funcionalidades. Esse tipo de usuário possui natureza variável dependendo da serventia do banco de dados. Um exemplo de usuários não especializados são os clientes de bancos ao utilizarem funções de saque, depósito ou extrato de suas contas.

2.6 Considerações finais

Neste capítulo foram abordados conceitos básicos relacionados às condições de macrot textura e de coeficiente de atrito de pavimentos aeroportuários, além de citar conceitos fundamentais do uso de ciência de dados para o desenvolvimento de banco de dados. Apesar

de não apresentar textos aplicados diretamente à Gerência de Pavimentos Aeroportuários, foram citados definições, ideias e conceitos de estruturação de bancos de dados de outras áreas, como varejo e saúde.

A presente revisão bibliográfica tratou da possibilidade da aplicação de conceitos de ciência de dados e da informação em SGPA. Para complementar essa demonstração, nos próximos capítulos serão aplicados os conceitos citados anteriormente com dados de relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito fornecidos pela ANAC para se obter um modelo de banco de dados.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Descreve-se neste capítulo o método utilizado para a estruturação de um banco de dados para condições de aderência de pavimentos aeroportuários brasileiros. Para isso, primeiro expõem-se as características dos relatórios fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Na sequência, descrevem-se os procedimentos utilizados para a captação de dados com o uso do *Tesseract OCR* e com o uso de um formulário em *Microsoft Excel* (.xls). Por fim, citam-se os métodos aplicados para a modelagem do ciclo de vida do banco de dados e para o desenvolvimento das dinâmicas de implementação do banco de dados.

3.1 Documentos fornecidos pela ANAC

Os relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito utilizados nesta pesquisa foram gerados pelos operadores de aeródromos em território brasileiro e encaminhados à ANAC como um dos critérios de autorização para a realização de operações nas Pistas de Pouso e de Decolagem (PPD). Todos esses relatórios estão contidos em documentos no formato *Portable Document File* (.pdf) que contém imagens digitalizadas. Os relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito observados seguem um padrão e estão estruturados com uma capa e pelo menos sete tópicos contendo a motivação do ensaio, informações gerais sobre a PPD, a tabela-resultado com a medição da macrotextura ou do coeficiente de atrito, conclusões, referências e assinatura dos responsáveis pela elaboração do relatório e pela execução do ensaio.

Além disso, nos relatórios de coeficiente de atrito estão contidos os dados de calibração do equipamento utilizado para a medição e o *output* do *software* operado junto ao equipamento. Os Anexos A e B mostram, respectivamente, exemplos de relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito fornecidos pela ANAC.

Todos os relatórios da amostra encontram-se padronizados conforme ANAC (2020c). Na série de documentos recebidos, a maior parte pela Lei de Acesso à Informação (Brasil, 2011), estão contidos 700 relatórios, sendo 350 de coeficiente de atrito e 350 de determinação da macrotextura, de diversas PPD localizadas em aeroportos brasileiros, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resumo da localidade dos relatórios fornecidos pela ANAC

| Nome do Aeroporto | Código OACI | Localidade | Quantidade de Relatórios |
|---------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|
| Pres. Juscelino Kubichek | SBBR | Brasília, DF | 75 |
| Tancredo Neves | SBCF | Confins, MG | 43 |
| Congonhas | SBSP | Congonhas, SP | 140 |
| Galeão | SBGL | Rio de Janeiro, RJ | 103 |
| Gov. André Franco Montoro | SBGR | Guarulhos, SP | 147 |
| Guararapes | SBRE | Recife, PE | 32 |
| Santos Dumont | SBRJ | Rio de Janeiro, RJ | 61 |
| Pinto Martins | SBFZ | Fortaleza, CE | 7 |
| Viracopos | SBKP | Campinas, SP | 68 |
| Eurico de Aguiar Sales | SBVT | Vitória, ES | 24 |

Fonte: Autor (2021).

Em relação à qualidade das imagens contidas nos relatórios, foram estabelecidos três critérios de avaliação a olho nu: (i) a resolução da imagem, (ii) a quantidade de contaminações presentes na imagem e (iii) a rotação da página com relação ao eixo do documento. A resolução se manteve quase constante em todos os documentos apresentados, mantendo valores médios de 300 pontos por polegada. Com isso, os outros dois critérios de avaliação foram os diferenciais para esta análise, apresentados em resumo na Tabela 6. Nas Figuras 11 e 12 encontram-se exemplos de rotações e contaminações presentes nos relatórios.

Tabela 6 – Resumo dos níveis de contaminações e de rotações

| Código OACI | Contaminações | Rotação |
|--------------------|----------------------|----------------|
| SBBR | Nenhum | Nenhuma |
| SBCF | Elevada | Nenhuma |
| SBSP | Baixa | Nenhuma |
| SBGL | Baixa | Baixa |
| SBGR | Baixa | Baixa |
| SBRE | Baixa | Baixa |
| SBRJ | Baixa | Elevada |
| SBFZ | Baixa | Baixa |
| SBKP | Elevada | Nenhuma |
| SBVT | Elevada | Baixa |

Fonte: Autor (2021).

Figura 9 – Exemplo de rotação classificada como “Baixa” em relatório

Relatório Técnico
RTa/SBFZ-005/2017-PPD-13/31 R(0)



| 13/31-6m-Direita | | | | |
|------------------|-------------|------|------|----------------------|
| | 200 - 300 | 0,79 | 0,81 | A > Nível Manutenção |
| | 300 - 400 | 1,05 | 1,08 | A > Nível Manutenção |
| | 400 - 500 | 1,04 | 1,07 | A > Nível Manutenção |
| | 500 - 600 | 0,96 | 0,98 | A > Nível Manutenção |
| | 600 - 700 | 0,93 | 0,95 | A > Nível Manutenção |
| | 700 - 800 | 0,88 | 0,90 | A > Nível Manutenção |
| | 800 - 900 | 0,85 | 0,87 | A > Nível Manutenção |
| | 900 - 1000 | 0,80 | 0,82 | A > Nível Manutenção |
| | 1000 - 1100 | 0,87 | 0,89 | A > Nível Manutenção |
| | 1100 - 1200 | 0,95 | 0,97 | A > Nível Manutenção |
| | 1200 - 1300 | 0,85 | 0,87 | A > Nível Manutenção |
| | 1300 - 1400 | 0,75 | 0,77 | A > Nível Manutenção |
| | 1400 - 1500 | 0,87 | 0,89 | A > Nível Manutenção |
| | 1500 - 1600 | 0,85 | 0,87 | A > Nível Manutenção |
| | 1600 - 1700 | 0,77 | 0,79 | A > Nível Manutenção |
| | 1700 - 1800 | 0,79 | 0,81 | A > Nível Manutenção |
| | 1800 - 1900 | 0,77 | 0,79 | A > Nível Manutenção |
| | 1900 - 2000 | 0,88 | 0,90 | A > Nível Manutenção |
| | 2000 - 2100 | 0,74 | 0,76 | A > Nível Manutenção |
| | 2100 - 2200 | 0,83 | 0,85 | A > Nível Manutenção |
| | 2200 - 2300 | 0,75 | 0,77 | A > Nível Manutenção |

Fonte: Autor (2021).

Figura 10 – Exemplo de contaminação por (a) grifagem (baixa) e por (b) mancha (elevada)

- a) **2.1 Letra do código da maior aeronave em operação.**
[] A [] B [] C [] D [X] E [] F
- b) **2.8. Pouso Diários:**
Cabeceira 10 (Predominante): 124
Cabeceira 28 (Secundária): 2

Fonte: Autor (2021).

As categorias descritas como “Nenhum” caracterizam os relatórios observados que não possuem rotação ou contaminações detectáveis. As que se apresentam como “Baixa” retratam contaminações ou rotações observáveis, mas com poucas ocorrências nos relatórios. Por fim, as “Elevadas” correspondem à presença generalizada de contaminações observáveis ou rotação considerável do eixo do documento.

Analisou-se, também, como os dados estão estruturados nos relatórios para que pudessem ser destacados os dados considerados notáveis para o presente trabalho. Na Tabela 7 encontram-se relacionados os campos e os dados notáveis contidos nos relatórios.

Tabela 7 – Dados notáveis e campos de dados encontrado em cada tipo de relatório

| Dados notáveis | Relatórios que apresentam o dado notável | Campo no qual dado foi encontrado |
|--|---|--|
| Tipo de relatório | Macrotextura e coeficiente de atrito | Capa do relatório |
| Código OACI | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Pista de pouso e decolagem | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Data de medição | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Tipo de Revestimento | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Código da aeronave crítica de projeto | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Comprimento e largura da PPD | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Existência e tamanho de tratamentos de superfície | Coeficiente de atrito | |
| Comprimento de pista medido | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Equipamento utilizado | Coeficiente de atrito | |
| Velocidade de execução da medição de atrito | Coeficiente de atrito | |
| Data da última remoção de borracha | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Data da última calibração do equipamento | Coeficiente de atrito | |
| Cabeceiras predominante e secundária e seus pousos diários | Macrotextura e coeficiente de atrito | |
| Medição da macrotextura | Macrotextura | Tabela do tópico de medição de macrotextura |
| Medição do coeficiente de atrito | Coeficiente de atrito | Tabela do tópico de medição do coeficiente de atrito |

Fonte: Autor.

3.2 Compatibilização dos dados com o uso do algoritmo ROC

Para realizar a captação dos dados presentes nas imagens dos relatórios foi utilizado o *Tesseract OCR*, na versão 4.1.1, que é um *software* disponível para os sistemas operacionais *Windows*, *Linux* e *Mac* e pode ser acessado diretamente por uma linha de comando de programação em *Python*. Para aprimorar a sua capacidade de leitura, foi adicionado um modo de mecanismo (OEM, do inglês *OCR Engine Mode*) calibrado com

aprendizado de máquina fornecido pelos próprios desenvolvedores do *Tesseract OCR*.

Além do *Tesseract OCR*, foram utilizados recursos da biblioteca de Visão Computacional (VC) *OpenCV*, em sua versão 4.3.0, para processar as imagens presentes nos documentos e mitigar os problemas de leitura devido à presença de contaminações. Tanto o *Tesseract OCR* como o *OpenCV* foram acessados por um algoritmo com código escrito pelo autor na linguagem *Python*, na versão 3.8.1.

Considerando isso, foram analisadas uma amostra de 25 conjuntos de relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito, totalizando 50 relatórios com diferentes níveis de contaminação e de rotação. A quantidade de relatórios analisados se limitou à disposição de tempo do autor a realizar a análise dos dados durante esta pesquisa. Após a seleção dos documentos teste, foram realizadas as leituras dos relatórios pelo *Tesseract OCR*.

Para validar a capacidade do programa em ler os dados de forma correta, foi proposto o uso do Índice de Qualidade dos Dados (IQD), que consiste em uma adaptação do Índice de Acurácia proposto por Robby *et al.* (2019). O IQD pode ser calculado, para cada tópico do documento, pela relação entre o número de ocorrências de acerto de todos os caracteres de cada dado (C_D) e a quantidade total de dados de cada tópico dos documentos (T_D), conforme apresentado na Equação 3.

$$IQD = C_D/T_D \quad (3)$$

Essa adaptação foi proposta para esta dissertação devido à importância que um único caractere possui em representar a qualidade de um dado por completo. Um exemplo disso é do erro de leitura o dado de medição de coeficiente de atrito com uso do *Mu-Meter*: o número 0,51 obtido no ensaio foi interpretado pelo *Tesseract OCR* como 0,61, apresentando um Índice de Acurácia de 75% por ter acertado três de quatro caracteres (“0”, “;”, “1”). Contudo, segundo a ANAC (2020a), o valor de coeficiente de atrito de 0,51 encontra-se na faixa de nível de manutenção, enquanto o valor 0,61 classifica-se como adequado. Em contrapartida, o IQD entende esse dado como errado, o que o tira do somatório C_D , expressando melhor a capacidade do *software* de coletar dados com qualidade satisfatória.

Os valores de IQD obtidos foram segregados por tipo de relatório e pelos conteúdos presentes na capa, nos dados gerais e nos dados de macrotextura e de coeficiente de atrito presentes nos relatórios. Com esses dados, foram realizadas análises estatísticas compostas pelo cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada um desses conteúdos.

3.3 Captação de dados com o uso de um formulário em .xls

Os dados obtidos na leitura dos relatórios com o uso do *Tesseract OCR* obtiveram qualidades distintas, apresentando erros que podem influenciar nas tomadas de decisão dos gestores. Para obter uma melhor qualidade e trabalhabilidade dos dados a serem captados, foram elaborados formulários em planilhas no formato .xls que contém todos os campos de dados presentes nos relatórios.

Foram desenvolvidos um modelo de formulário para macrotextura e um para coeficiente de atrito, onde constam três planilhas. A primeira foi elaborada para ser preenchida com os dados da capa, com dados gerais, com as análises críticas, conclusões e referências dos relatórios. Na segunda, foram produzidas duas tabelas padronizadas onde devem ser computados ou dados de macrotextura ou de coeficiente de atrito. A última planilha contém um relatório modelo para impressão contendo os dados computados nas demais planilhas. Esses formulários foram construídos com o uso do *Microsoft Excel 2016, na versão 2011*, e seguiu as recomendações da ANAC (2020c).

Para automatizar o processo de extração dos dados das planilhas em .xls e de construção de *datasets* em arquivos de texto (.txt), foi elaborado um algoritmo em *Python*, também na versão 3.8.1, com o uso de funções da biblioteca *Pandas* na versão 1.0.1. Com o objetivo de testar o método de captação de dados com uso dos formulários e da biblioteca *Pandas*, foram preenchidos formulários utilizando os dados dos 25 conjuntos de relatórios utilizados nos testes com o *Tesseract OCR*. Além disso, foram impressos relatórios em .pdf utilizando uma planilha que contém a estrutura de um relatório conforme os modelos propostos pela ANAC (2020a). No Apêndice A encontra-se a descrição das etapas de inserção de dados nos formulários em .xls e do uso do algoritmo para escrever os dados em um arquivo em .txt.

Durante o desenvolvimento dos formulários, atentou-se para a possibilidade de coletar os dados do .xls e construir o arquivo .txt utilizando macros do Microsoft Excel. Contudo, o presente método opta pelo uso da linguagem de programação *Python* por ser utilizada por grande parte dos cientistas de dados, que compõem os usuários do banco de dados.

3.4 Desenvolvimento do ciclo de vida dos dados

O ciclo de vida dos dados foi construído com base no modelo proposto por

Zambetti, Pinto e Pezzotta (2019), contemplando as fases de coleta, processamento, arquivamento e destinação final dos dados. Prevendo o crescimento do volume de dados captados ao passar do tempo, foram desenvolvidos os métodos de arquivamento dos documentos com o uso de diretórios e de chaves de acesso. O modelo de chave de acesso foi desenvolvido para que os usuários possam encontrar os relatórios de forma intuitiva, sendo composta por dados contidos nos relatórios. A chave proposta deve ser composta pelo código do aeródromo da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), o número das cabeceiras da PPD, o tipo de relatório e a data a qual foi realizada a medição no formato ano, mês e dia, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Modelos de chaves de relatórios

| | Código OACI | PPD | Tipo de Relatório | Data de medição |
|--------------------|--------------------|------------|--------------------------|------------------------|
| Exemplos de chaves | SBVT | 0523 | MTX | 150819 |
| | SBBR | 11L29R | ATR | 150629 |
| | SBGR | 09R27L | ATR | 170918 |

Fonte: Autor.

Para a organizar os arquivos .txt, .xls e .pdf gerados, foram criados diretórios com o nome correspondente ao código OACI e subpastas para armazenar os formulários e dados de macrot textura e de coeficiente de atrito. A Figura 13 ilustra um caminho para se obter um dado de um determinado relatório arquivado no banco de dados.

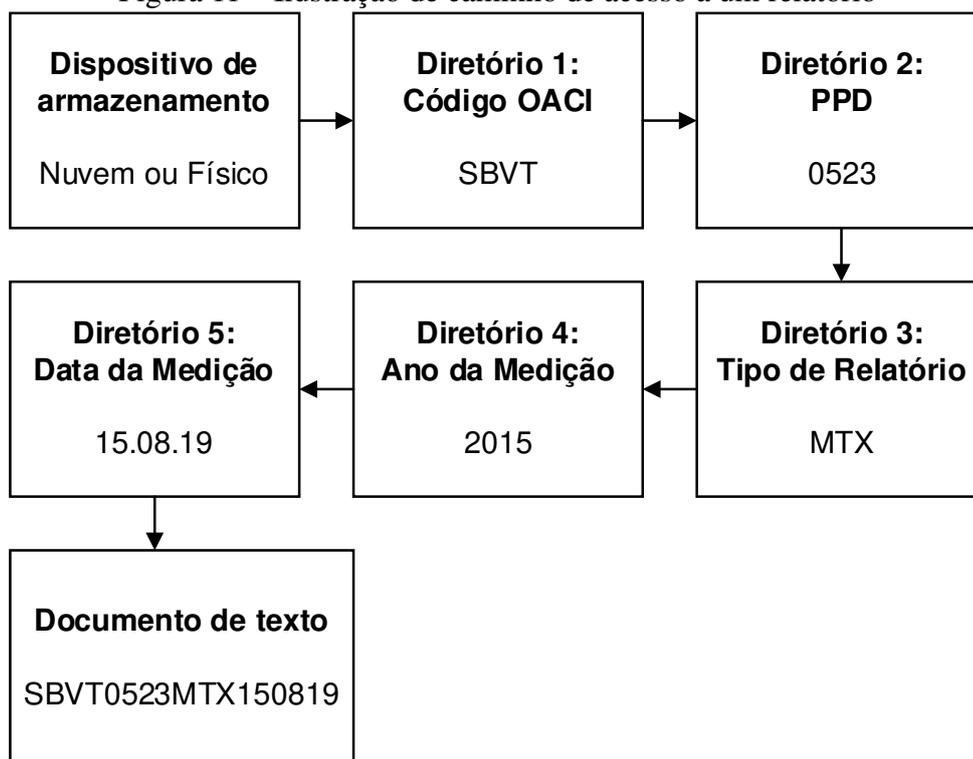
Para a destinação final dos dados, foi construído outro algoritmo em *Python*, na versão 3.8.1, com o uso da biblioteca *Pandas*, na versão 1.0.1, que reestrutura os dados em uma planilha em .xls. Na Tabela 9 encontra-se uma planilha reconstruída com o uso do algoritmo descrito em que constam a chave, as datas de medição e da última remoção de borracha, valores de profundidade de macrot textura média para cada terço de pista e a indicação da condição da PPD de acordo com a resolução da ANAC (2020a).

Tabela 9 – Planilha reconstruída com auxílio da biblioteca *Pandas*

| Chave | Data de Medição | Data da última remoção de borracha | PPD | Profundidade de macrot textura média para cada terço de pista | | | |
|---------|-----------------|------------------------------------|-------|---|----------|----------|--------------|
| | | | | 1/3 | 2/3 | 3/3 | Média da PPD |
| SBFZ133 | | | | 1/3 | 2/3 | 3/3 | Média da PPD |
| 1MTX14 | 2014/05/20 | 2014/05/10 | 13/31 | 0,87 | 0,83 | 0,83 | 0,85 |
| 0520 | | | | Adequada | Adequada | Adequada | Adequada |

Fonte: Autor (2021).

Figura 11 – Ilustração de caminho de acesso a um relatório



Fonte: Autor (2021).

3.5 Aplicação do banco de dados no contexto da infraestrutura aeroportuária

Após a construção do ciclo de vida dos dados, foram descritos como a ANAC, os operadores de aeródromos e as entidades de pesquisa colaborariam com o banco de dados e quais seriam os benefícios adquiridos com a sua utilização. Para isso, foram definidas inicialmente as necessidades desses três usuários com base na construção de hierarquias DIKW, descritas na Revisão Bibliográfica. Ressalta-se que essas hierarquias não são absolutas e que podem ser ajustadas dependendo das necessidades dos usuários do banco de dados.

Na sequência, foram descritas as atividades a serem desenvolvidas pela ANAC, pelos operadores de aeródromos e pelas entidades de pesquisa para que se tenha a implementação do banco de dados proposto. Com o objetivo de representar melhor a interação entre esses usuários, foi elaborado um fluxograma que ilustra a dinâmica necessária para o funcionamento do banco de dados.

Também foi construído um organograma explicando as classes e as atribuições de cada usuário. A importância dessa etapa é de estabelecer os níveis hierárquicos entre os analistas/especialistas da ANAC, dos operadores de aeródromos e das entidades de pesquisa frente à operação do banco de dados. Por fim, foi desenvolvida uma ilustração do organograma proposto contendo a posição hierárquica de cada usuário.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

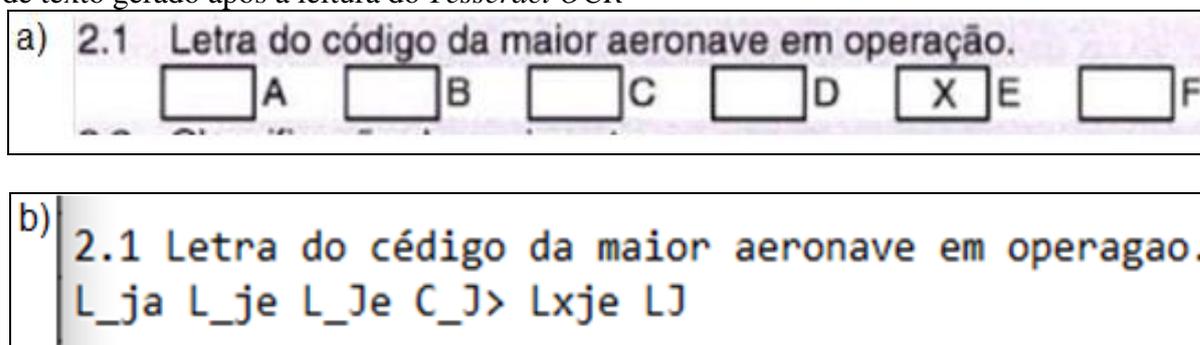
No presente capítulo estão descritos os resultados obtidos com o teste de leitura do *Tesseract OCR*, com a aplicação do modelo de captação de dados com o uso de formulários em *Microsoft Excel* (.xls), com o desenvolvimento do ciclo de vida para o banco de dados e com a criação da dinâmica de aplicação dessa ferramenta proposta para a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), para os operadores de aeródromos e as entidades de pesquisa.

4.1 Teste de captação de dados com o Tesseract OCR e com o preenchimento de Formulários em .xls

Para validar o uso do *Tesseract OCR* foram determinados os Índices de Qualidade dos Dados (IQD) das leituras dos relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito. Os resultados de IQD estão expressos na Tabela 10 e os relatórios utilizados para estas análises estão armazenados no caminho especificado no Apêndice B.

Os resultados de IQD obtidos com a leitura da capa dos relatórios apresentaram um valor médio de 85% de acerto, um desvio padrão de 23,15% e coeficiente de variação de 27%. Além disso, destaca-se que os menores valores de IQD obtidos foram para as tabelas que contêm os dados de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito. Durante o levantamento inicial dos IQD, notou-se que, durante as leituras dos dados, as linhas de grade, que correspondem às células de tabelas, apresentaram-se como contaminações, como na Figura 14.

Figura 12 – Recorte de tela da imagem (a) original de um relatório e (b) recorte de um arquivo de texto gerado após a leitura do *Tesseract OCR*



Fonte: Autor (2021).

Tabela 10 – Índice de Qualidade dos Dados obtidos com o *Tesseract OCR*

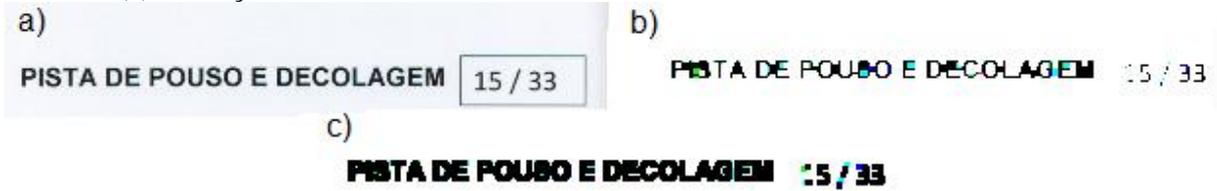
| Nº CONJUNTO | IQDS DO <i>TESSERACT OCR</i> | | | | | |
|--------------------------|------------------------------|---------------|------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| | MACROTEXTURA | | | COEFICIENTE DE ATRITO | | |
| | Capa | Dados Gerais | Tabela Macrotextura | Capa | Dados Gerais | Tabela Coef. de Atrito |
| 1 | 100,00% | 100,00% | 88,46% | 100,00% | 100,00% | 70,56% |
| 2 | 100,00% | 100,00% | 54,29% | 100,00% | 100,00% | 86,11% |
| 3 | 50,00% | 80,00% | 63,90% | 100,00% | 80,00% | 82,11% |
| 4 | 100,00% | 100,00% | 65,10% | 100,00% | 100,00% | 39,88% |
| 5 | 100,00% | 80,00% | 92,00% | 100,00% | 80,00% | 11,76% |
| 6 | 100,00% | 80,00% | 98,50% | 100,00% | 80,00% | 87,36% |
| 7 | 50,00% | 80,00% | 0,00% | 50,00% | 80,00% | 0,00% |
| 8 | 100,00% | 100,00% | 98,75% | 100,00% | 100,00% | 84,34% |
| 9 | 100,00% | 80,00% | 96,08% | 100,00% | 80,00% | 97,91% |
| 10 | 100,00% | 80,00% | 82,52% | 50,00% | 80,00% | 79,17% |
| 11 | 50,00% | 60,00% | 45,88% | 50,00% | 60,00% | 36,66% |
| 12 | 100,00% | 100,00% | 91,25% | 100,00% | 100,00% | 92,50% |
| 13 | 100,00% | 100,00% | 93,34% | 100,00% | 100,00% | 92,21% |
| 14 | 100,00% | 100,00% | 78,82% | 100,00% | 100,00% | 69,37% |
| 15 | 100,00% | 100,00% | 96,50% | 100,00% | 100,00% | 93,00% |
| 16 | 50,00% | 100,00% | 92,42% | 50,00% | 100,00% | 97,24% |
| 17 | 100,00% | 100,00% | 89,25% | 100,00% | 100,00% | 92,14% |
| 18 | 100,00% | 80,00% | 72,36% | 100,00% | 60,00% | 88,52% |
| 19 | 50,00% | 80,00% | 91,13% | 50,00% | 80,00% | 93,33% |
| 20 | 50,00% | 80,00% | 0,00% | 50,00% | 80,00% | 0,00% |
| 21 | 50,00% | 80,00% | 0,00% | 50,00% | 80,00% | 0,00% |
| 22 | 100,00% | 80,00% | 37,41% | 100,00% | 80,00% | 43,79% |
| 23 | 100,00% | 80,00% | 13,25% | 100,00% | 80,00% | 39,13% |
| 24 | 100,00% | 100,00% | 77,64% | 100,00% | 100,00% | 76,60% |
| 25 | 50,00% | 80,00% | 92,12% | 100,00% | 80,00% | 91,12% |
| Média | 84,00% | 88,00% | 68,44% | 86,00% | 87,20% | 65,79% |
| Desvio Padrão | 23,80% | 11,55% | 33,39% | 22,91% | 12,75% | 33,68% |
| Coef. de Variação | 28,34% | 13,12% | 48,79% | 26,64% | 14,63% | 51,19% |

Fonte: Autor (2021).

Para mitigar esses erros, foram utilizadas as funções do *OpenCV* de binarização, erosão e dilatação de imagem de forma a apagar as linhas presentes nos documentos, recompondo posteriormente a estrutura do caractere. Apesar disso, alguns dados dos relatórios não conseguiram ser extraídos de forma adequada, pois o processo de erosão decomps alguns caracteres por inteiro, o que não tornou possível a sua recomposição com o processo

de dilatação (Figura 15).

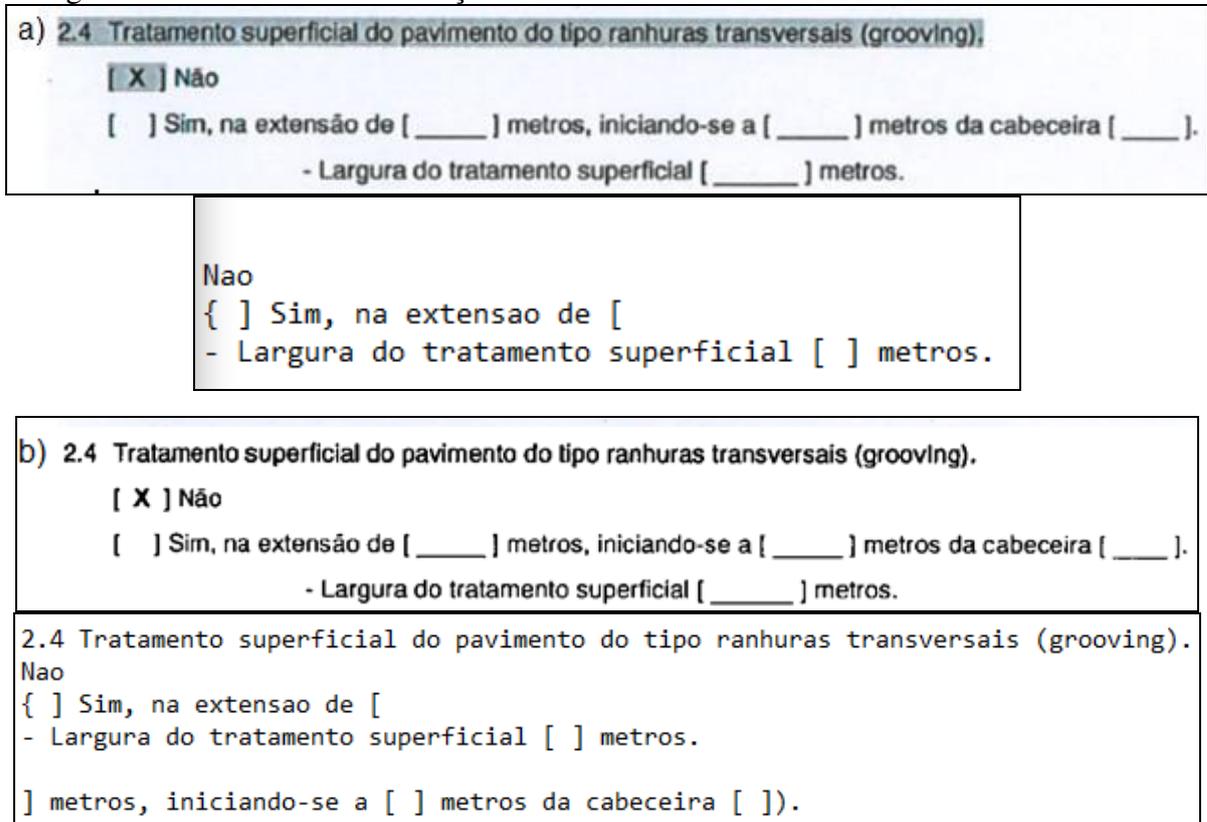
Figura 13 – Comparação de imagem de relatório (a) em estado natural, e após os (b) efeitos de erosão e (c) dilatação



Fonte: Autor (2021).

Para dados gerais, obteve-se uma média de acerto de 87,6%, desvio padrão de 12,05% e coeficiente de variação de 14%. Durante o levantamento dos IQD, foram notados problemas de leituras de caracteres acentuados e especiais, tais como os pares de parênteses, colchetes e chaves, sendo estes confundidos com semelhantes, como “L”, “J”, “C”, “F”, “O”, dentre outros. Esses problemas podem ser observados nas Figuras 14 e 16.

Figura 14 – Recorte de tela de imagem (a) do relatório grifado e do texto extraído; e (b) imagem do relatório com binarização monocromática e o texto extraído



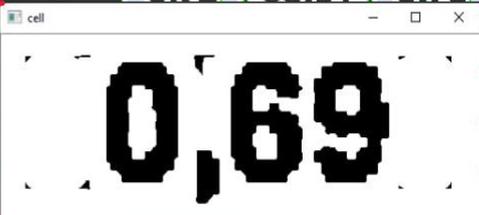
Fonte: Autor (2021).

Inicialmente, o *Tesseract OCR* não conseguiu realizar a leitura das tabelas dos

valores de coeficiente de atrito e de macrotextura contidos nos relatórios. Tal resultado pode estar atribuído ao volume de caracteres a serem lidos e pelo fato de todos os dados dessa seção estarem contidos em linhas de grade. Para viabilizar a leitura desses dados pelo *Tesseract OCR*, foi utilizada uma função do *OpenCV* de detecção de contornos para que cada célula da tabela dos relatórios pudesse ser identificada, segregada e lida separadamente dos demais, conforme a Figura 17.

Figura 15 – Representação dos contornos definidos por visão computacional (representados em verde) e separação da célula para leitura

| ↑ | Esquerda do eixo da pista | | | | | Direita do eixo da pista | | | |
|------|---------------------------|----------|-------|----------|------|--------------------------|----------|-------|----------|
| | 5m | | 3m | | | 3m | | 5m | |
| | μ | V (Km/h) | μ | V (Km/h) | | μ | V (Km/h) | μ | V (Km/h) |
| 3000 | 0,78 | 64,03 | 0,65 | 65,94 | 0,72 | 63,01 | 0,78 | 64,5 | |
| 2900 | 0,78 | 64,34 | 0,65 | 66,89 | | | | 64,6 | |
| 2800 | 0,76 | 64,52 | 0,63 | 65,12 | | | | 64,5 | |
| 2700 | 0,69 | 64,40 | 0,60 | 63,49 | | | | 64,5 | |
| 2600 | 0,68 | 64,32 | 0,57 | 63,83 | | | | 64,1 | |



Fonte: Autor (2021).

Ressalta-se que, devido à variação da qualidade das digitalizações dos relatórios estudados, foram utilizadas diferentes configurações para os processos de binarização, dilatação, erosão e detecção de contornos para que, dessa forma, pudessem ser obtidos os melhores resultados de leitura possíveis. O projeto contendo os códigos utilizados para a leitura do *Tesseract OCR* pode ser acessado no Apêndice C.

Conforme descrito anteriormente, o *Tesseract OCR* apresentou erros de leitura de dados dos relatórios, o que afetou a qualidade dos dados armazenados dessa forma. Para garantir que os dados captados tivessem uma qualidade adequada, foi proposto o uso de formulários em .xls elaborados pelo autor. No Apêndice D estão disponíveis dois modelos simplificados de formulário para medição de macrotextura (Figura 18) e de coeficiente de atrito.

Figura 16 – Recorte de tela de formulário de macrotextura

| 1) CAPA DO RELATÓRIO | |
|--|-------------------------------------|
| Nome do Aeródromo | Presidente Juscelino Kubitschek |
| Código OACI | SBBR |
| Pista de pouso e decolagem | 11L/29R |
| Relatório Técnico | 6/SBBR |
| Data de medição | 26/08/2015 |
| Cidade | Brasília |
| Data de postagem do relatório | quinta-feira, 3 de setembro de 2015 |
| Responsável pela execução do ensaio | Luiz Eduardo de Souza Vieira |
| Responsável técnico pelo relatório | Anderson do Valle Abrahão |
| CREA | |
| Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) | |

Fonte: Autor (2021).

Após o preenchimento dos formulários com os dados dos 25 conjuntos de relatórios do Apêndice B, foi utilizado o algoritmo com a biblioteca *Pandas* para captar dados e gerar arquivos de texto (.txt) que contem *datasets* dos relatórios (Figura 19). Além disso, foram impressos os relatórios gerados por essas planilhas no formato *Portable Document File* (.pdf, Figura 20). Ao observar o conteúdo dos arquivos .txt, verificou-se que todos os dados foram impressos corretamente, apresentando qualidade adequada. Os arquivos .txt e .pdf encontram-se também em um caminho escrito no Apêndice E.

Figura 17 – Recorte de tela de *dataset* em .txt

```

SBBR11L29RATR110715.txt - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
Presidente Juscelino Kubitschek
SBBR
11L/29R
13-B/15-SBBR_11L
2015-07-11
Brasília
2015-06-14
Daniel M. Barros
Wilson Roberto Molina
601916656
Sem ART
MOTIVADO PELA ORDEM XXX DA ANAC
E
Flexível: nan
3200 45.0
1
2100 0.0 11L
nan nan nan
nan nan nan
30

```

Fonte: Autor (2021).

Figura 18 – Recorte de tela de parte do relatório em .pdf gerado com formulário

| 3. RESULTADOS DA MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------------------------|----------|-----------------|----------|-------------------|--------------------------|----------|-----------------|----------|------|------|
| ↑ | | Esquerda do eixo da pista | | | | Desaceleraç ão | Direita do eixo da pista | | | | ↑ | |
| | | 6 m | | 3 m | | | 6 m | | 3 m | | | |
| | | Coef. De Atrito | V (km/h) | Coef. De Atrito | V (km/h) | | Coef. De Atrito | V (km/h) | Coef. De Atrito | V (km/h) | | |
| Início | Fim | | | | 13 | | | | | Início | Fim | |
| 2900 | 3000 | 0,73 | 64,3 | 0,69 | 63,34 | | 0,64 | 63,72 | 0,62 | 64,46 | 2900 | 3000 |
| 2800 | 2900 | 0,68 | 63,48 | 0,65 | 65,05 | | 0,58 | 64 | 0,59 | 64,32 | 2800 | 2900 |
| 2700 | 2800 | 0,58 | 63,93 | 0,63 | 65,51 | | 0,57 | 64,36 | 0,56 | 64,75 | 2700 | 2800 |
| 2600 | 2700 | 0,59 | 64,91 | 0,65 | 63,41 | | 0,58 | 63,39 | 0,57 | 64 | 2600 | 2700 |
| 2500 | 2600 | 0,6 | 64,91 | 0,62 | 63,41 | | 0,57 | 63,66 | 0,57 | 64,91 | 2500 | 2600 |
| 2400 | 2500 | 0,64 | 65,67 | 0,63 | 64,33 | | 0,63 | 64,00 | 0,63 | 65,55 | 2400 | 2500 |

Fonte: Autor (2021).

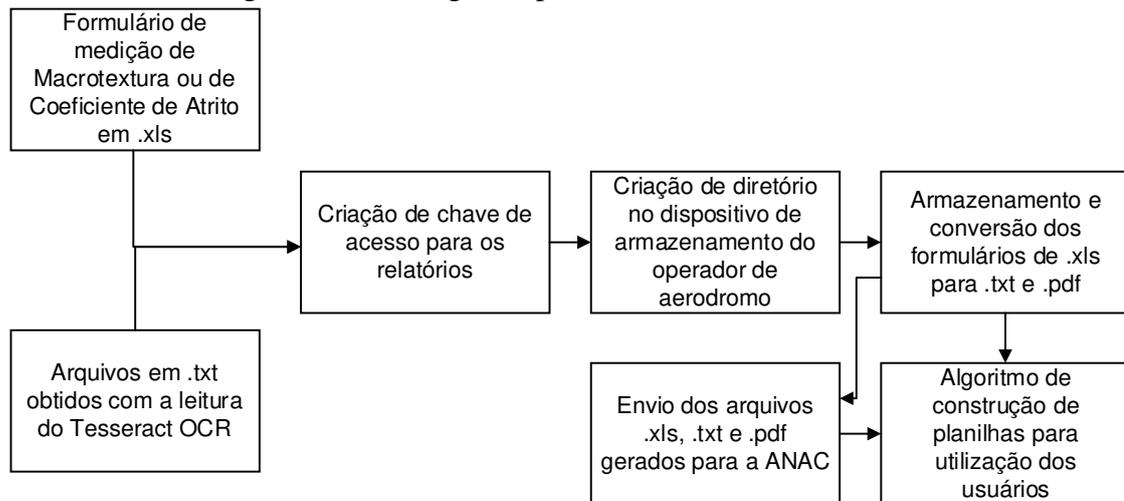
As desvantagens desse método de captação de dados frente ao do *Tesseract OCR* estão relacionadas à necessidade do preenchimento manual do formulário. Nesse caso, a necessidade humana de preencher o formulário torna o processo mais lento quando se trata de um grande volume de dados, ao mesmo tempo que os formulários gerados dessa forma podem ocorrer erros.

4.2 Aplicação do ciclo de vida para os dados

A contribuição do ciclo de vida de dados proposto neste trabalho é de automatizar e padronizar a estruturação e a manipulação dos dados coletados com o uso de arquivos formatados em .xls e .txt, auxiliando na construção de um *dataset* aos usuários. Na Figura 21 encontra-se o fluxograma que contém o modelo de ciclo de vida proposto para os dados deste trabalho.

Após a captação dos dados utilizando o método do *Tesseract OCR* e dos formulários em .xls, foram desenvolvidas chaves de acesso conforme exemplificado na Tabela 8. Para este processo, foi utilizada a amostra dos 25 conjuntos de relatórios presentes no Apêndice B como forma de rotular os dados. As chaves de acesso obtidas encontram-se na Tabela 11.

Figura 19 – Fluxograma para o ciclo de vida dos dados



Fonte: Autor (2021).

Tabela 11 – Chaves de acesso para dados de macrotextura e de coeficiente de atrito

| Número dos Relatórios | Chaves de dados de Coeficiente de Atrito | |
|-----------------------|--|--|
| | Chaves de dados de Macrotextura | Chaves de dados de Coeficiente de Atrito |
| 1 | SBBR11L29RMTX150825 | SBBR11L29RATR150711 |
| 2 | SBCF1634MTX171218 | SBCF1634ATR171204 |
| 3 | SBSP17R35LMTX150807 | SBSP17R35LATR150807 |
| 4 | SBGL1028MTX170303 | SBGL1028ATR170303 |
| 5 | SBBR11L29RMTX160406 | SBBR11L29RATR160425 |
| 6 | SBFZ1331MTX170625 | SBFZ1331ATR170622 |
| 7 | SBKP1533MTX160602 | SBKP1533ATR160602 |
| 8 | SBVT0220MTX191030 | SBVT0220ATR191015 |
| 9 | SBBR11R29LMTX161230 | SBBR11R29LATR161229 |
| 10 | SBBR11L29RMTX170712 | SBBR11L29RATR170713 |
| 11 | SBKP1533MTX150826 | SBKP1533ATR150826 |
| 12 | SBVT0523MTX150819 | SBVT0523ATR150819 |
| 13 | SBGR09R27LMTX160103 | SBGR09R27LATR160103 |
| 14 | SBFZ1331MTX170331 | SBFZ1331ATR170328 |
| 15 | SBFZ1331MTX170917 | SBFZ1331ATR171009 |
| 16 | SBBR11R29LMTX180319 | SBBR11L29RATR180314 |
| 17 | SBBR11L29RMTX171017 | SBBR11L29RATR171016 |
| 18 | SBBR11L29RMTX160704 | SBBR11L29RATR160722 |
| 19 | SBGR09R27LMTX160901 | SBGR09R27LATR160901 |
| 20 | SBKP1533MTX160604 | SBKP1533ATR160406 |
| 21 | SBKP1533MTX160728 | SBKP1533ATR160728 |
| 22 | SBGL1533MTX160603 | SBGL1533ATR160603 |
| 23 | SBGL1028MTX160613 | SBGL1028ATR160611 |
| 24 | SBCF1634MTX170828 | SBCF1634ATR170814 |
| 25 | SBBR11L29RMTX180328 | SBBR11L29RATR180323 |

Fonte: Autor (2021).

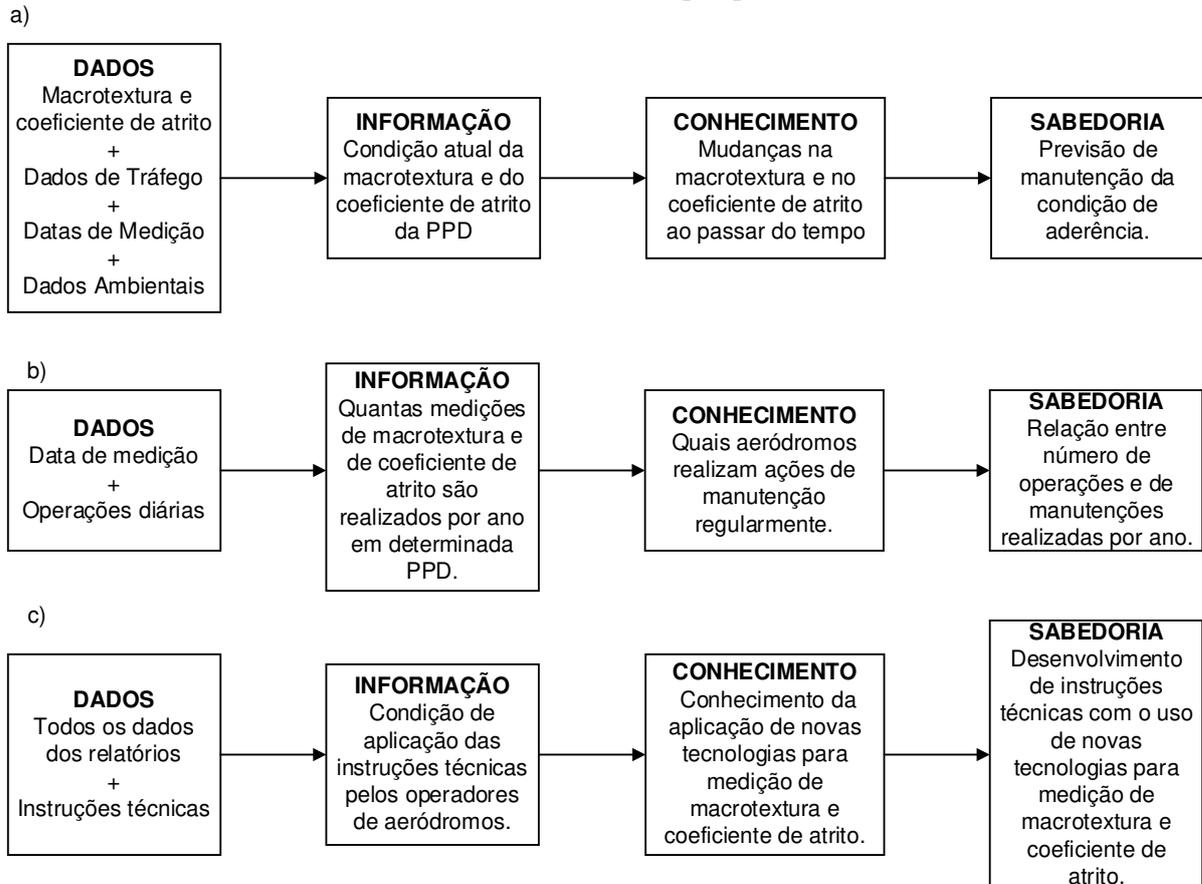
Para a destinação final, os dados dos arquivos .txt presentes no Apêndice E foram reagrupados em planilhas no formato .xls com o uso de outro algoritmo com a biblioteca *Pandas* conforme exemplificado na Tabela 9. Os dados estruturados obtidos com a aplicação do ciclo de vida e com o uso do algoritmo de reagrupamento de dados encontram-se no Apêndice F e o código utilizado para obter esse resultado encontra-se no Apêndice C.

4.3 Aplicação do banco de dados na infraestrutura aeroportuária

O presente tópico tem o objetivo de mostrar a aplicação do banco de dados modelado e, com isso, descrever os tipos de usuários que compõem a hierarquia organizacional do banco de dados. Para alcançar esses objetivos, foram definidas as necessidades e funções dos principais usuários, bem como as informações, os conhecimentos e as sabedorias que podem ser obtidas com base nos dados adquiridos na fase de captação. Na Figura 22 encontram-se as hierarquias DIKW propostas com base nos tipos de dados coletados dos relatórios. Destaca-se que as hierarquias desenvolvidas nesta dissertação atendem às necessidades dos usuários somente quanto às condições de macrotextura e de coeficiente de atrito das PPD.

Os próximos subtópicos deste trabalho descrevem as contribuições adquiridas com a adoção do banco de dados com base nas hierarquias DIKW presentes na Figura 22. Contudo, ressalta-se que essas hierarquias não são absolutas e que podem mudar ou ser acrescidas conforme os interesses e benefícios dessas colaborações, dependendo do contexto e das necessidades de cada usuário. Nota-se que os operadores de aeródromos, a ANAC e as entidades de pesquisa possuem um objetivo comum: garantir a segurança das operações de pouso e de decolagem no território nacional. A implementação do banco de dados proposto nesta dissertação facilita o cumprimento desse objetivo, pois auxilia na colaboração entre esses usuários por meio das atividades de armazenamento, processamento e padronização dos dados.

Figura 20 – Hierarquias DIKW desenvolvidas com base nas necessidades (a) dos operadores de aeródromos, (b) da ANAC e (c) das entidades de pesquisa



Fonte: Autor (2021).

4.3.1 Contribuições para a ANAC

Com a implementação do banco de dados proposto, a ANAC apresentará melhor fluxo de trabalho com os dados, o que auxiliará no acompanhamento da situação atual dos aeródromos brasileiros. Com isso, a ANAC será capaz de planejar e executar melhor as ações de fiscalização nos aeródromos que apresentam alguma restrição nas condições de aderência da PPD.

Além disso, o preenchimento de formulários em .xls pode ser entendido pela ANAC como um modo de formalizar as medições de macrotextura e de coeficiente de atrito realizadas pelos operadores de aeródromos. Ao adotar essa medida, a agência reguladora poderá automatizar o processo de avaliação da condição de aderência das PPD.

4.3.2 Contribuições para as entidades de pesquisa

O maior benefício que as entidades de pesquisa poderia obter com a implementação do banco de dados é o acesso aos dados para realizar suas pesquisas. O uso de datasets de macrotextura e de coeficiente de atrito padroniza o processamento dos dados e das informações do inventário nas atividades de desenvolvimento e de calibração de modelos matemáticos, como o de previsão de desempenho da condição aderência das PPD.

Esses dados podem ser utilizados também em pesquisas como: a de medição de macrotextura com uso de Processamento Digital de Imagens (PDI); a de consideração dos efeitos do tempo e do clima no processo de medição do coeficiente de atrito; e a de desenvolvimento e calibração de modelos de previsão de desempenho da condição de aderência de PPD. O desenvolvimento desses estudos gera resultados que colaboram na elaboração e atualização de instruções de serviços, regulamentos e resoluções publicados pela ANAC.

4.3.3 Contribuições para os operadores de aeródromos

Para os operadores de aeródromo, a principal bonificação obtida em colaborar com a implementação do banco de dados seria de poder aplicar as ferramentas de apoio às tomadas de decisão desenvolvidas pelas entidades de pesquisa citadas no tópico anterior. Tais ferramentas são importantes por que geram dados que servem como base para traçar estratégias de aplicação de recursos. A coleta desses dados também é importante para alimentar a base de dados e manter o seu ciclo de vida operante.

Com a contínua operação do ciclo de vida, espera-se que as entidades de pesquisa desenvolvam mais trabalhos sobre métodos de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito alternativos, propondo o uso de novas técnicas e ensaios ao estado da prática. Com isso, os operadores de aeródromos serão capazes de realizar procedimentos de medição mais produtivos e eficazes em mostrar a real condição de aderência do pavimento.

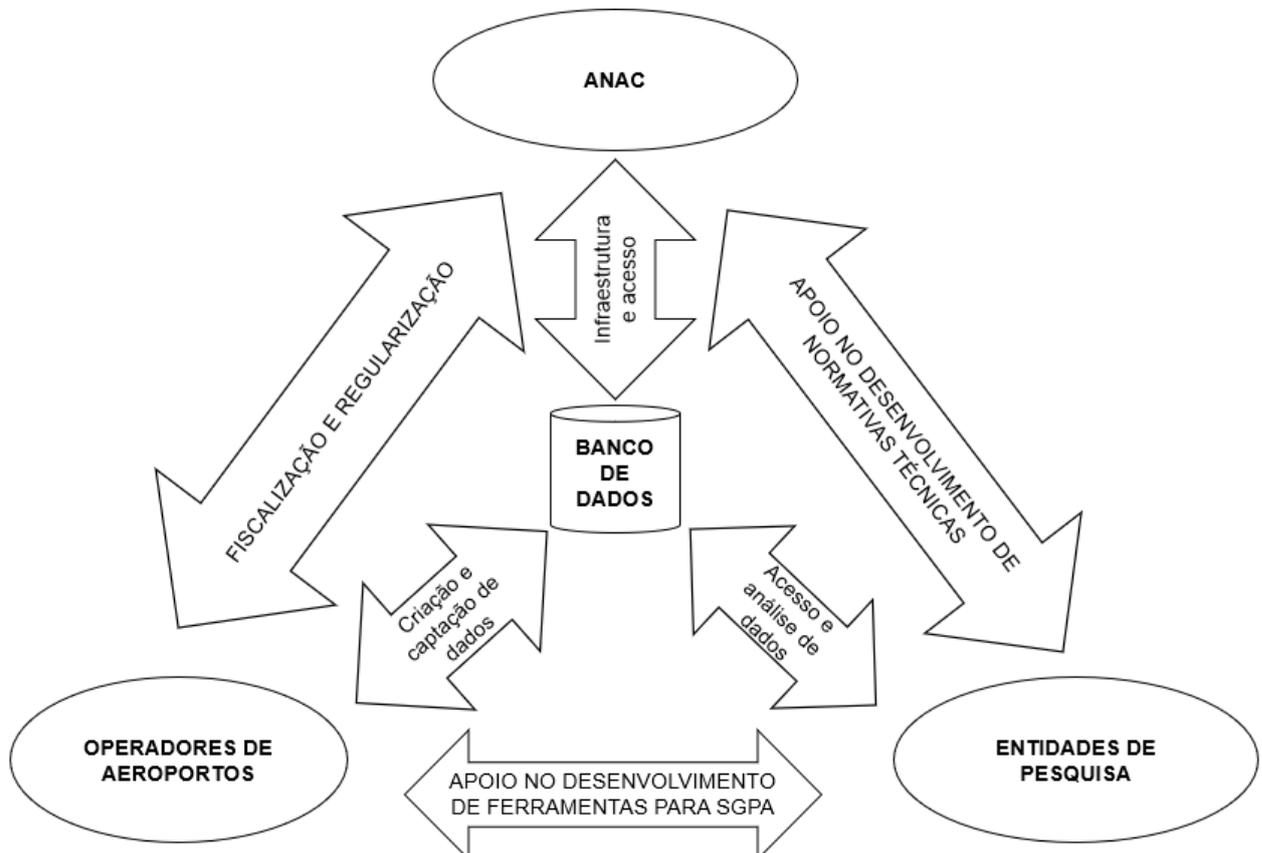
4.3.4 Classes dos usuários e dinâmica de implementação do banco de dados

Para que se tenha a funcionalidade do banco de dados apresentado, algumas atividades devem ser designadas aos operadores de aeródromos, à ANAC e às entidades de pesquisa. Os operadores de aeródromos devem armazenar os dados de macrotextura e de

coeficiente de atrito coletados em campo, padronizando-os com o uso dos algoritmos propostos no Apêndice C.

A ANAC possui a responsabilidade fundamental de manter os sistemas de infraestrutura do banco de dados, atendendo às necessidades da população no que se refere à disponibilização e acesso dos dados. Por sua vez, as entidades de pesquisa possuem o papel de processar esses dados e apoiar os operadores de aeródromos e a ANAC no desenvolvimento de novas tecnologias e instruções de serviço acerca da condição de aderência das PPD. Para resumir as atividades propostas para cada usuário, foi desenvolvida uma representação gráfica mostrando a dinâmica de implementação do banco de dados, expresso na Figura 23.

Figura 21 – Dinâmica da aplicação do banco de dados.



Fonte: Autor (2021).

Com base no sugerido por Sanches (2005), foi desenvolvido um organograma contendo as classes e a estrutura hierárquica dos principais usuários. No topo da hierarquia encontram-se os desenvolvedores e mantenedores do banco de dados da ANAC. A função desses usuários é de projetar a infraestrutura, as funcionalidades e as interfaces do banco de

dados de acordo com as necessidades apontadas pelos usuários de alto nível.

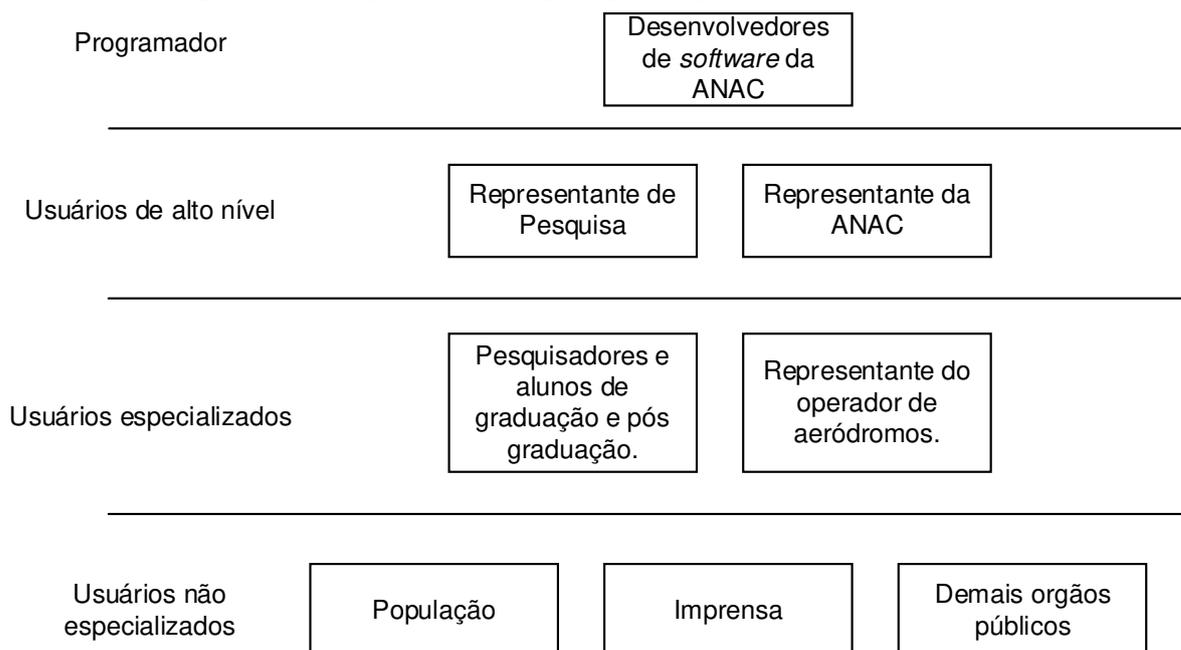
Além de apontar as funções que devem ser implementadas no banco de dados, os usuários de alto nível são responsáveis por definir quais tipos de dados podem ser acessados para cada tipo de usuário. Para isso, deve-se contar com representantes das entidades de pesquisa e da ANAC que serão responsáveis pela gestão dos usuários e da base de dados.

Os usuários especializados, por sua vez, são os que alimentarão e acessarão o banco de dados para desenvolver informações, conhecimentos e sabedorias conforme descrito nas hierarquias DIKW da Figura 22. Para isso, contam com representantes dos operadores de aeródromos, pesquisadores e alunos de graduação e pós graduação capazes de apresentar, aos usuários de alto nível, os resultados obtidos com a manipulação dos dados.

Na base da hierarquia, encontram-se os usuários não especializados. A função dessa classe de usuários é de garantir o acesso à informação a todos, conforme especificado por Brasil (2011). Representados pela população, imprensa, demais órgãos públicos, dentre outros, esses usuários não necessariamente possuem sabedoria técnica sobre infraestrutura aeroportuária, mas podem utilizar os dados para finalidades outras.

Para sintetizar a posição de cada classe de usuário citado anteriormente, foi elaborado um organograma contendo a posição hierárquica de cada classe de usuário, expresso na Figura 24. Ressalta-se que as necessidades estabelecidas pelos usuários de alto nível podem variar ao longo do tempo, o que influencia na designação de cada usuário.

Figura 22 – Proposição de organograma para classes de usuários.



Fonte: Autor (2021).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo contempla as conclusões, as limitações e as recomendações para trabalhos futuros. A presente dissertação teve o objetivo de propor um método de modelagem de banco de dados com base em conceitos de ciência de informação, ciência de dados e de Gerência de Pavimentos Aeroportuários. Com a implementação do banco de dados proposto, espera-se que a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), os operadores de aeródromos, as entidades de pesquisa e os demais usuários obtenham melhor trabalhabilidade e facilidade de acesso aos dados.

5.1 Principais conclusões

Os resultados obtidos com a verificação da capacidade de leitura do *Tesseract OCR* mostraram-se favoráveis quando se trata da leitura da capa e das informações gerais dos relatórios de coeficiente de atrito e de macrotextura, obtendo IQD médios de 85,00% e 87,60% respectivamente. Por sua vez, os IQD obtidos com a leitura das tabelas apresentaram valores médios de 65,79% e 68,44%, e apresentando valores heterogêneos entre 0% e 98,75%, o que demonstra que o uso do *Tesseract OCR* deve ser evitado para a captação de dados. Por conta disso, foi proposta a substituição dos relatórios no formato *Portable Document File* (.pdf) por formulários em *Microsoft Excel* (.xls). Após a realização dos testes de captação de dados com uso dos formulários, verificou-se que todos os dados computados foram extraídos com qualidade e organização adequados.

Após a determinação dos métodos de captação de dados, foi modelado o ciclo de vida para a alimentação do banco de dados. O uso das ferramentas de chave de acesso e do uso de diretórios padronizados foram fundamentais para organizar os dados coletados. Ao aplicar esses conceitos, obteve-se uma base de dados padronizados que permite uma recuperação de dados adequada.

Por fim, a proposta de dinâmica de implementação do banco de dados apresenta os principais benefícios proporcionados com a sua aplicação, são elas: a facilitação das atividades de fiscalização e de regulação da ANAC; o fornecimento de dados para as entidades de pesquisa desenvolverem trabalhos sobre a aplicação de novas tecnologias para medição e previsão das condições de aderência; e a aplicação dessas novas tecnologias para a obtenção dos dados de condição de aderência mais condizentes com o estado real do pavimento.

5.2 Principais contribuições

A primeira contribuição desta dissertação foi no desenvolvimento de dois métodos de captação de dados. As leituras obtidas com o *Tesseract OCR* mostraram-se inconsistentes com testes realizados com uma amostra de 25 conjuntos de relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito. Para que se pudesse captar os dados com melhor qualidade, recomenda-se a substituição da exigência dos relatórios em .pdf pelos formulários em .xls propostos.

Observando-se a pouca quantidade de pesquisas envolvendo a criação de banco de dados para Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), o presente trabalho contribui, também, ao descrever um exemplo de aplicação de um ciclo de vida para dados de condição de aderência de Pistas de Pouso e Decolagem (PPD). A aplicação do modelo proposto com uso dos dados fornecidos pela ANAC mostra a importância que o estudo do ciclo de vida tem para a alimentação do banco de dados.

Destaca-se que a modelagem de banco de dados possui papel fundamental no desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho relacionados à condição de aderência das PPD brasileiras. A organização dos dados e arquivos obtidos com a execução do ciclo de vida dos dados é fundamental para que se tenha um processamento otimizado sobretudo aos usuários que utilizam de ferramentas de ciência de dados.

Além disso, o desenvolvimento da dinâmica de implementação do banco de dados descreve os benefícios obtidos com o trabalho conjunto entre a ANAC, as entidades de pesquisa e os operadores de aeródromos. Essas discussões são contribuições para reforçar a ideia de que o trabalho conjunto entre esses usuários proporciona vantagens para todas as partes.

Esta dissertação também é fruto do projeto de pesquisa intitulado de “Contribuição da Ciência, Tecnologia e Inovação ao Estudo dos Pavimentos Aeroportuários Nacionais” que tem o objetivo geral de subsidiar, tecnicamente e cientificamente a ANAC no planejamento das ações de regulação e fiscalização dos pavimentos aeroportuários brasileiros para o incremento da segurança operacional. Com isso, a implementação do banco de dados proposto neste trabalho possui a importância de padronizar e otimizar o processamento de dados que poderão ser utilizados em pesquisas futuras.

5.3 Principais limitações

Inicialmente, antes de estabelecer o convênio com a ANAC, enfrentou-se dificuldade, no quesito tempo, no processo de obtenção dos relatórios de teste. Para se conseguir o acesso a esses documentos, foi necessário acionar a Lei de Acesso à Informação junto à agência reguladora.

Entende-se que a repetitividade do processo de contagem de dados corretos obtidos com o *Tesseract OCR* também é uma limitação, pois trata-se de um processo de análise fadigante ao pesquisador quando realizada para um conjunto de dados extenso. Com isso, existe a possibilidade dos dados de IQD levantados apresentarem erros.

Os dados analisados para a construção do banco de dados estão relacionados diretamente com as condições de aderência das Pistas de Pouso e de Decolagem (PPD). Portanto, destaca-se que o banco de dados possui a sua implementação limitada somente aos dados referentes à condição de aderência desse elemento da infraestrutura, e não às pistas de taxiamento e aos pátios de estacionamento de aeronaves.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

Algumas ideias acerca do desenvolvimento de interfaces com usuários, da leitura do *Tesseract OCR* e da implementação do banco de dados que não foram plenamente contempladas nesta dissertação e podem ser entendidas como recomendações para trabalhos futuros, tais como:

- a) desenvolver um sistema de banco de dados não relacional com uso de *Not Only Structured Query Language (NoSQL)* e *softwares* de interface com o usuário que abrigue as funções e os dados utilizados nessa dissertação;
- b) aprimorar a capacidade de leitura do *Tesseract OCR* com o uso de um sistema de aprendizado de máquina ou rede neural artificial calibrados com as características dos relatórios antigos, bem como com a utilização de outras funções da biblioteca *OpenCV* para o processamento da imagem;
- c) desenvolver um modelo de relatório padrão sem detalhes que sejam considerados como interferência para a leitura do *Tesseract OCR*;
- d) analisar a eficácia do banco de dados ao ser aplicado em um estudo de caso conforme a dinâmica proposta nesta dissertação;

- e) desenvolver um *software* para computadores e dispositivos móveis que, utilizando a base de dados proposta, consiga calibrar modelos de previsão de desempenho da condição de aderência das PPD brasileiras;
- f) expandir o uso da modelagem de banco de dados desenvolvido para outros tipos de dados, tais como de análise da condição estrutural do pavimento, de geometria, de tráfego, etc.

REFERÊNCIAS

- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Aeródromos - Operação, manutenção e resposta à emergência**. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - RBAC Número 153, emenda número 05. Brasília, DF, 2020a.
- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Anuário do Transporte Aéreo 2018. Agência Nacional de Aviação Civil**. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF, 2020b.
- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Manual de sistema de gerenciamento de pavimentos aeroportuários - SGPA**. Brasília, DF, 2017.
- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Monitoramento da irregularidade longitudinal, atrito e macrotextura do pavimento da pista pouso e decolagem**. Instrução Suplementar Número 153.205-001, Revisão B. Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária. Brasília, DF, 2020c.
- AMARAL F. **Introdução à ciência de dados, mineração de dados e Big Data**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2016.
- American Society for Testing and Materials, ASTM. **Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth**. Norma da E1845 - 15. West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2015a.
- American Society for Testing and Materials, ASTM. **Standard Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter**. Norma da ASTM E2380M - 15. West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2019.
- American Society for Testing and Materials, ASTM. **Standard Test Method for Testing Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter**. Norma da ASTM E 670-09. West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2015b.
- APS, M. **Classificação da Aderência pneu-pavimento pelo índice IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos**. 2006. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2006.
- ARAÚJO, C. A. A. **Correntes teóricas da ciência da informação. Ciência da Informação**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 192-204, 2009.
- BARROS, R. L. **Gestão da Conservação de Pavimentos de Aeroportos e Aeródromos**. 2008. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2008.
- BERNUCCI, L. A.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; Soares, J. B. **Pavimentação Asfáltica – Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008.
- Brasil. **Código Brasileiro de Aeronáutica**. Lei Nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986. Casa Civil, Presidência da República. Brasília, DF, 1986.
- Brasil. **Cria a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, e dá outras providências**. Lei

nº 11.182, de 27 de setembro de 2005. Casa Civil, Presidência da República. Brasília, DF, 2005.

Brasil. **Lei de acesso à informação**. Lei Nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Casa Civil, Presidência da República. Brasília, DF, 2011.

BUNKE, H.; WANG, P. S. P. **Handbook of Character Recognition and Document Image Analysis**. World Scientific. New Jersey: River Edge, 1997.

CARVALHO, D. R. **Árvore de decisão/Algoritmo genético para tratar o problema de pequenos disjuntos em classificação de dados**. 2005. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

CBIE, Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Quantos aeroportos existem no Brasil**. Disponível em <<https://cbie.com.br/artigos/quantos-aeroportos-existem-no-brasil/>>. 2019. Acesso em 5 de junho de 2020.

CHEN, J.; HUANG, C.; CHEN, C.; SU, K. Effect of Rubber Deposits on Runway Pavement Friction Characteristics. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, [S.L.], v. 2068, n. 1, p. 119-125, jan. 2008. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.3141/2068-13>.

CHOO, C. W. **A organização do conhecimento – Como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões**. São Paulo: Editora SENAC, 2003.

CORMEN, T. H.; LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L., STEIN, C. **Introduction to Algorithms**. The MIT Press, 3ª Edição. Massachusetts: Cambridge 2009.

CROWLEY, J. L.; CHRISTENSEN, H. I. **Vision as Process Basic Research on Computer Vision Systems**. Berlim: Springer-Verlag Berlin e Co, 1995.

DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Conhecimento Empresarial - como as organizações gerenciam o seu capital intelectual**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.

DURÁN, J. B. C. **Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários: estudo de caso no aeroporto estadual de Araraquara**. 2015. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2015.

EDMONDSON, V.; WOODWARD, J.; LIM, M.; KANE, M.; MARTIN, J.; SHYHA, I. Improved non-contact 3D field and processing techniques to achieve macrotexture characterisation of pavements. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 227, p. 116693, dez. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116693>.

FEDELI, R. D.; POLLONI, E. G. F.; PERES, F. E. **Introdução à ciência da computação**. 2ª Edição. São Paulo: Editora Cengage Learning, 2010.

FAA, Federal Aviation Administration. **Airport Data Importer Tools Guide**. Versão 1.2. United States Department of Transportation. Washington, DC, USA, 2018.

FAA, Federal Aviation Administration. **Measurement, construction and maintenance of skid-resistant airport pavement surfaces**. Advisory Circular – AC 150/5320-12C Change 8. United States Department of Transportation. Washington, DC, USA, 2007.

FLINTSCH, G. W.; LEÓN, E.; MCGHEE, K. K.; AI-QADI, I. Pavement Surface Macrottexture Measurement and Applications. **Transportation Research Record**: Journal of the Transportation Research Board, [S.L.], v. 1860, n. 1, p. 168-177, jan. 2003. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.3141/1860-19>.

FOX, P. **Data Life Cycle: Introduction, Definitions and Considerations**. Notas de Aula. Rensselaer Polytechnic Institute. New York, USA, 2014.

GOMES, J. C.; PIMENTA, R. M.; SCHNEIDER, M. Mineração de dados na pesquisa em ciência da informação: desafios e oportunidades. *In*: Encontro Nacional em Pesquisa da Ciência da Informação, 20a, 2019. **Anais [...]**. Florianópolis, SC, 2019.

Google. **An Overview of the Tesseract OCR Engine**. Texto introdutório ao Tesseract OCR escrito por Ray Smith. Disponível em <<https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/pt-BR//pubs/archive/33418.pdf>>. 2007. Acesso em 10 de agosto de 2020.

HAAS, R., HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1994.

HIBBELER R. C. **Mecânicas para Engenharia – Estáticas e dinâmicas**. 11ª Edição. São Paulo: Editora Pearson, 2010.

HJØRLAND, B. **Data with big data and database semantics**. ISKO Encyclopedia of Knowledge Organization, Disponível em <<http://www.isko.org/cyclo/data>>. 2018. Acesso em 5 de julho de 2020.

International Organization for Standardization, ISO. **Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 1: Determination of mean profile depth**. Norma ISO 13473-1:2019(en). Genebra, Suíça, 2019.

KHALOUFI, H.; ABOUELMEHDI, K.; BENI-HSSANE, A.; SAADI, M. Security model for Big Healthcare Data Lifecycle. **Procedia Computer Science**, [S.L.], v. 141, p. 294-301, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.199>.

LARANJEIRAS, E. **O que é ciência dos dados (data science) 01 – dados, informação, conhecimento e sabedoria**. <<https://saudenetwork.com.br/tag/informacao/>>. 2020. Acesso em 19 de maio de 2020.

MALLICK, B. R.; EL-KORCHI, T. **Pavement Engineering: Principles and Practice**. New York: CRC Press, 2009.

MARTINS, J. P. S. P. **Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção. Aplicação ao Licenciamento Automático de Projectos**. 2009. Tese de Doutoramento – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2009.

MENESES, S.; FERREIRA, A. New Optimization Model for Road Network Maintenance Management. **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, [S.L.], v. 54, p. 956-965, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.811>.

NordFoU. **Performance Prediction Models for Flexible Pavements**. Disponível em <<http://www.nordfou.org/knowledge/Sider/default.aspx>>. 2009. Acesso em 28 de agosto de 2020.

OLIVEIRA F. H. L. **Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação**. 2016. Tese de Doutorado – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 2016.

OLIVEIRA, F. H. L. **Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza**. 2009. Dissertação de Mestrado - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 2009.

OpenCV. **Morphological Transformations OpenCV python tutorials**. Disponível em <https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_morphological_ops/py_morphological_ops.html>. 2013. Acesso em 15 de agosto de 2020.

OACI, Organização da Aviação Civil Internacional. **Airport Services Manual. Part 2. Pavement Surface Condition**. 4ª Edição. Montreal: OACI, 2012a.

OACI, Organização da Aviação Civil Internacional. **Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting**. Circular de Número 329. Disponível em <<https://www.icao.int/safety/RunwaySafety/Documents/RE%20Runway%20Surface%20Condition.pdf>>. 2012b. Acesso em 12 de junho de 2020.

PRANJÍĆ, I.; DELUKA-TIBLJAŁ, A.; CUCULIĆ, M.; ĆURDONJA, S. Influence of pavement surface macrot texture on pavement skid resistance. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 45, p. 747-754, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2020.02.102>.

Python Software Foundation. **Python Tutorial Release 3.8.4**. Disponível em <<https://www.python.org/downloads/release/python-384/>>. 2020. Acesso em 3 de outubro de 2020.

QUARIGUASI, J. B. F.; OLIVEIRA, F. H. L.; REIS, S. D. S. Estudo preliminar sobre proposição de modelo de previsão para o coeficiente de atrito medido em pista de pouso e decolagem Tecnologia Avançada de Transporte Aéreo no Brasil. *In: Simpósio do Transporte Aéreo*, 18, 2019. **Anais [...]**. Brasília, DF, SITRAER, 2019.

REMOR, C. A.; FIALHO, F.; QUEIROZ, M. P. Hierarquia DIKW e capital humano. *In: Seminário Universidades Corporativas e Escolas de Governo*, 1, 2017. **Anais [...]**. Florianópolis, SC, 2017.

RIBEIRO, A. **Estrutura e organização da informação**. Notas de aula da disciplina de Introdução a Sistemas de Computação. Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, RR,

2013.

ROBBY, G. A.; TANDRA, A.; SUSANTO, I.; HAREFA, J.; CHOWANDA, A. Implementation of Optical Character Recognition using Tesseract with the Javanese Script Target in Android Application. *In: International Conference on Computer Science and Computational Intelligence*, 4th, 2019. **Proceedings [...]**. Yogyakarta, Indonesia, 2019.

RODRIGUES FILHO, O. S. **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários - estudo de caso do aeroporto internacional de São Paulo / Congonhas**. 2006. Dissertação de Mestrado – Escola politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006

ROWLEY, J. The wisdom hierarchy: representations of the dikw hierarchy. **Journal of Information Science**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 163-180, 15 fev. 2007. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0165551506070706>.

SALES, R. S. **Análise Do Processo De Remoção De Borracha Em Revestimentos Aeroportuários: Influência Na Aderência Pneu-Pavimento**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2019.

SANCHES, A. R. **Notas de aula da disciplina de Fundamentos de Armazenamento e Manipulação de dados**. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2005.

SANT'ANA, R. C. G. Ciclo de vida dos dados: uma perspectiva a partir da ciência da informação. **Informação & Informação**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 116, 20 dez. 2016. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1981-8920.2016v21n2p116>.

SEMIDÃO, R. A. M. Dados, Informação e Conhecimento: elementos de análise conceitual. **DataGramZero**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, ago. 2013. Disponível em: http://www.dgz.org.br/dez14/Art_03.htm. Acesso em: 30 dez. 2014.

SONG, S. W. **Listas Lineares**. Anotações de aula da disciplina de estrutura de dados. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2008.

SOUSA E. S. **Verificação do parâmetro de macrot textura de pavimentos em serviço por meio do processamento digital de imagens**. 2018. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Ceará, 2018.

Transport Canada. **Aerodrome Safety Circular. ASC 2004-023. Appendix A – Guidelines Respecting the Measurement, Evaluation and Maintenance of Airfield Pavement Surface Friction**. Government of Canada Disponível em <https://tc.canada.ca/en/aviation/reference-centre/aerodrome-safety-circulars/aerodrome-safety-circular-asc-no-2004-023>. 2004. Acesso em: 04 de abril 2020.

WHITE, G. State of the art: asphalt for airport pavement surfacing. **International Journal of Pavement Research and Technology**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 77-98, jan. 2018. Airiti Press, Inc. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.07.008>.

YOUNG, S.; WELLS, A. **Aeroportos: Planejamento e gestão**. 6^a ed. Porto Alegre: Editora

Bookman, 2014.

ZAMBETTI, M.; PINTO, R.; PEZZOTTA, G. Data lifecycle and technology-based opportunities in new Product Service System offering towards a multidimensional framework. In: Conference on Industrial Product-Service Systems, 11th, 2019. **Proceedings [...]**. Zhuhai & Hong Kong, China, 2019.

APÊNDICE A – GUIA PARA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DOS FORMULÁRIOS EM .XLS

Passo 1: Abrir as planilhas “MODELO RELATÓRIO MACROTEXTURA” e “MODELO RELATÓRIO ATRITO” e preencher as planilhas “PREENCHER.GERAIS.MACROTEXTURA” e “PREENCHER.GERAIS.ATRITO” com os dados da pista de pouso e decolagem (PPD). É importante que, neste processo, não sejam alteradas, deslocadas ou acrescentadas nenhuma célula da planilha salve as destinadas para receber os dados (células com bordas destacadas). Caso falte algum dado da planilha, deve-se deixar o espaço em branco.

Passo 1 – Recorte de tela com o preenchimento da planilha “PREENCHER.GERAIS.MACROTEXTURA” ou “PREENCHER.GERAIS.ATRITO”

2) INFORMAÇÕES GERAIS

| | | |
|---|-------------------------------|---------|
| Motivação do ensaio | Necessidade de manter atualiz | |
| Letra do código da maior aeronave em operação. | E | |
| Classificação do pavimento. | Flexível | Outro: |
| Comprimento e largura da pista de pouso e decolagem. | Comprimento de | 320 |
| Quantidade de trechos com ranhuras transversais (groovings) na pista. | 2 | trechos |
| Extensão do trechos com ranhuras transversais (grooving). | Sim, na extensão de | 110 |
| Extensão do trechos com ranhuras transversais (grooving). | Sim, na extensão de | 110 |
| Extensão do trechos com ranhuras transversais (grooving). | Sim, na extensão de | |
| Largura do trechos com ranhuras transversais (grooving). | 30 | metros. |
| Quantidade de trechos com pavimento do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA) na pista. | | trechos |
| Tratamento superficial do pavimento do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA). | Sim, na extensão de | |
| Tratamento superficial do pavimento do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA). | Sim, na extensão de | |
| Tratamento superficial do pavimento do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA). | Sim, na extensão de | |
| Comprimento de pista medido | 3200 | metros. |
| Condição do tempo durante a medição | Ensolarado | Intro: |
| Data da ultima remoção de borracha | 11/07/2015 | (dd/mm) |
| Próxima medição de macrotextura | 09/10/2015 | (dd/mm) |
| Pousos diários de aeronaves com motor a reação na cabeceira predominante (média do último ano). | 158 | pous |
| Pousos diários de aeronaves com motor a reação na cabeceira secundária (média do último ano). | 27 | pous |

Fonte: Autor.

Passo 2: preparar as planilhas “PREENCHER.VALORES.MACROTEXTURA” e “PREENCHER.VALORES.ATRITO” com os dados de extensão da PPD e das medições de macrotextura e de coeficiente de atrito.

Passo 3: Preencher as planilhas com os dados de Macrotextura e de Coeficiente de Atrito.

Passos 2 e 3 – Recorte de tela com planilha “PREENCHER.VALORES.MACROTEXTURA” preparada para receber os dados

| | | | | 29R | | | | |
|------|--|---------------------------|--|-----|--|------|--------------------------|------|
| | | Esquerda do eixo da pista | | | | | Direita do eixo da pista | |
| | | 3m | | | | | 3m | |
| 3300 | | | | | | 0,71 | | 3300 |
| 3200 | | 0,68 | | | | | | 3200 |
| 3100 | | | | | | 0,61 | | 3100 |
| 3000 | | 0,77 | | | | | | 3000 |
| 2900 | | | | | | 0,6 | | 2900 |
| 2800 | | 0,81 | | | | | | 2800 |
| 2700 | | | | | | 0,78 | | 2700 |
| 2600 | | 0,76 | | | | | | 2600 |
| 2500 | | | | | | 0,7 | | 2500 |
| 2400 | | 0,52 | | | | | | 2400 |
| 2300 | | | | | | 0,55 | | 2300 |
| 2200 | | 1,26 | | | | | | 2200 |
| 2100 | | | | | | 1,49 | | 2100 |
| 2000 | | 1,29 | | | | | | 2000 |
| 1900 | | | | | | 1,5 | | 1900 |
| 1800 | | 0,97 | | | | | | 1800 |
| 1700 | | | | | | 1,38 | | 1700 |
| 1600 | | 1,55 | | | | | | 1600 |
| 1500 | | | | | | 1,6 | | 1500 |
| 1400 | | 1,47 | | | | | | 1400 |
| 1300 | | | | | | 1,73 | | 1300 |

Fonte: Autor.

Passo 4: Ajustar o tópico “3. RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE MACROTEXTURA” e “3. RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE COEFICIENTE DE ATRITO” das planilhas “OUTPUT” e imprimir os relatórios, caso seja necessário.

Passo 5: Instale a biblioteca Pandas no seu compilador.

Passo 6: Execute o leitor_formulário.py.

Passo 7: Especifique o caminho onde se encontra o formulário de coeficiente de atrito.

Passo 8: Especifique o caminho onde se encontra o formulário de macrot textura.

Passo 9: Os arquivos de texto com os dados dos relatórios se encontrarão no mesmo diretório do leitor_formulário.py.

Passo 4 – Ajuste da planilha “OUTPUT”

| 3. RESULTADOS DA MEDIÇÃO DE MACROTEXTURA | | | | |
|--|---------------------------------|-----|--------------------------------|------|
| | | 29R | | |
| ↑ | Esquerda do eixo da pista 3m | | Direita do eixo da pista 3m | ↑ |
| 3300 | | | 0,71 | 3300 |
| 3200 | 0,68 | | | 3200 |
| 3100 | | | 0,61 | 3100 |
| 3000 | 0,77 | | | 3000 |
| 2900 | | | 0,6 | 2900 |
| 2800 | 0,81 | | | 2800 |
| 2700 | | | 0,78 | 2700 |
| 2600 | 0,76 | | | 2600 |
| 2500 | | | 0,7 | 2500 |
| 2400 | 0,52 | | | 2400 |
| 2300 | | | 0,55 | 2300 |
| 2200 | 1,26 | | | 2200 |
| 2100 | | | 1,49 | 2100 |
| 2000 | 1,29 | | | 2000 |
| 1900 | | | 1,5 | 1900 |
| 1800 | 0,97 | | | 1800 |
| 1700 | | | 1,38 | 1700 |
| 1600 | 1,55 | | | 1600 |
| 1500 | | | 1,6 | 1500 |
| 1400 | 1,47 | | | 1400 |
| 1300 | | | 1,73 | 1300 |
| 1200 | 0,79 | | | 1200 |
| 1100 | | | 0,74 | 1100 |
| 1000 | 0,94 | | | 1000 |
| 900 | | | 1,5 | 900 |
| 800 | 1,22 | | | 800 |
| 700 | | | 1,39 | 700 |
| 600 | 0,87 | | | 600 |
| 500 | | | 1 | 500 |
| 400 | 0,87 | | | 400 |
| 300 | | | 0,86 | 300 |
| 200 | 0,86 | | | 200 |

Fonte: Autor.

Passos 6 a 9 – Utilização do algoritmo “leitor_formulario.py”

```

n: leitor_formulario x
C:\Users\Haikel\.virtualenvs\moths-kYvkQ0
Qual é o caminho: C:\Users\Haikel\Desktop
SBBR11L29RATR110715
Qual é o caminho: C:\Users\Haikel\Desktop
SBBR11L29RMTX260815
Process finished with exit code 0

```

Fonte: Autor.

APÊNDICE B – AMOSTRA DE RELATÓRIOS UTILIZADOS PARA OS TESTES

<<https://drive.google.com/drive/folders/1-PSCXMJDcHzRZibrbGoeTzTn2qBnkGa3?usp=sharing>>

**APÊNDICE C – PROJETO CONTENDO OS CÓDIGOS DE PROGRAMAÇÃO
UTILIZADOS NA DISSERTAÇÃO**



<<https://drive.google.com/drive/folders/1syBhWM1YL4EV-4116P61egsuM-2wqm93?usp=sharing>>

**APÊNDICE D – MODELOS DE FORMULÁRIOS DE ATRITO E DE
MACROTEXTURA**



<https://drive.google.com/drive/folders/1kFbpQ4BUEs-op8aVg9_L4yelw9WwB5oI?usp=sharing>

**APÊNDICE E – RESULTADOS OBTIDOS COM A LEITURA DOS
FORMULÁRIOS**



<[https://drive.google.com/drive/folders/1I09lHgEOanwBQ5T6QmbhbSmNVnXw1c32?usp=s
haring](https://drive.google.com/drive/folders/1I09lHgEOanwBQ5T6QmbhbSmNVnXw1c32?usp=s
haring)>

APÊNDICE F – DADOS ESTRUTURADOS

<<https://drive.google.com/drive/folders/1Xwj9PZ70K00Rp5WV5sDi6QYDDWUJfcej?usp=s>
[haring](#)>

**ANEXO A – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE MACROTEXTURA FORNECIDO
PELA ANAC**



MEDIÇÃO DE MACROTEXTURA

AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA

SBBR

PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

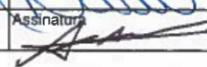
11L/29R

Brasília, 02 de abril de 2018

Relatório Técnico Nº: 1/ SBBR

Data de Medição:

| | | |
|----|----|------|
| 28 | 03 | 2018 |
|----|----|------|

| | | |
|------------|--|---|
| Data: | Responsável pela execução do ensaio: |  |
| 02/04/2018 | Daniel Balbino - Técnico em Edificações | |
| Data: | Responsável técnico pelo relatório: |  |
| 02/04/2018 | Anderson do Valle Abrahão - Engenheiro Civil | |



Relatório Técnico Nº: 1/ SBBR

1. MOTIVAÇÃO DA MEDIÇÃO

1.1 Necessidade de manter atualizadas as informações relacionadas com as condições operacionais que afetam a resistência à frenagem na superfície do pavimento.

2. INFORMAÇÕES GERAIS

2.1 Letra do código da maior aeronave em operação.

A B C D E F

2.2 Classificação do pavimento.

Flexível Rígido Outro (especificar) _____

2.3 Comprimento e largura da pista de pouso e decolagem.

Comprimento: metros Largura: metros

2.4 Tratamento superficial do pavimento do tipo ranhuras transversais (*grooving*).

Não

Sim, na extensão de metros, iniciando-se a metros da cabeceira
e na extensão de metros, iniciando-se a metros da cabeceira

Largura do Tratamento superficial metros.

2.5 Comprimento da pista medido.

metros

2.6 Distância do ponto de início da medição em relação ao início da sinalização horizontal de cabeceira

metros da cabeceira

2.7 Data da última remoção de borracha da pista.

2.8 Horário de início da medição de Macrotextura.

2.9 Horário de término da medição de Macrotextura.

2.10 Próxima medição de Macrotextura (data provável).

2.19 Pousos diários de aeronaves com motor a reação por cabeceira (média do último ano).

| | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|
| <input type="text" value="82"/> | pousos de aeronaves com motor a reação na cabeceira | <input type="text" value="11L"/> |
| <input type="text" value="16"/> | pousos de aeronaves com motor a reação na cabeceira | <input type="text" value="29R"/> |

2.20 Observações.

Visto do responsável pela execução do ensaio:

Visto do responsável pelo Relatório

Página

2



Relatório Técnico Nº: 1/ SBBR

3. RESULTADOS - VALORES DE MACROTEXTURA

| | | 29R | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|------|--------------------------|------|
| | | Esquerda do eixo da pista | | Direita do eixo da pista | |
| | | 3m | | 3m | |
| Distâncias de medição (m) | 3200 | | | 0,86 | 3200 |
| | 3100 | 0,73 | | | 3100 |
| | 3000 | | | 1,06 | 3000 |
| | 2900 | 0,80 | | | 2900 |
| | 2800 | | | 0,85 | 2800 |
| | 2700 | 0,73 | | | 2700 |
| | 2600 | | | 0,89 | 2600 |
| | 2500 | 1,12 | | | 2500 |
| | 2400 | | | 0,73 | 2400 |
| | 2300 | 0,86 | | | 2300 |
| | 2200 | | | 0,63 | 2200 |
| | 2100 | 0,75 | | | 2100 |
| | 2000 | | | 1,41 | 2000 |
| | 1900 | 1,32 | | | 1900 |
| | 1800 | | | 1,57 | 1800 |
| | 1700 | 1,34 | | | 1700 |
| | 1600 | | | 1,68 | 1600 |
| | 1500 | 1,35 | | | 1500 |
| | 1400 | | | 1,71 | 1400 |
| | 1300 | 1,35 | | | 1300 |
| 1200 | | | 1,72 | 1200 | |
| 1100 | 0,91 | | | 1100 | |
| 1000 | | | 1,09 | 1000 | |
| 900 | 0,83 | | | 900 | |
| 800 | | | 1,33 | 800 | |
| 700 | 1,29 | | | 700 | |
| 600 | | | 1,09 | 600 | |
| 500 | 0,91 | | | 500 | |
| 400 | | | 1,08 | 400 | |
| 300 | 1,02 | | | 300 | |
| 200 | | | 0,97 | 200 | |
| 100 | 1,23 | | | 100 | |
| 000 | | | 1,05 | 000 | |

| Porção da Pista | Profundidade Média (mm) |
|------------------|-------------------------|
| 1/3 da pista (*) | 1,16 mm |
| 2/3 da pista (*) | 1,33 mm |
| 3/3 da pista (*) | 0,84 mm |

(*) Em relação à cabeceira na qual teve início a medição

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

Tabela 153.205-7 - Classificação da macrotextura
RBAC 153 Emenda nº 01

Visto do responsável pela execução do ensaio:

Visto do responsável pelo Relatório

Página

3



Relatório Técnico Nº: 1/ SBBR

4. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

4.1 Não há trechos de pista com profundidade de macrotextura menores que o nível da manutenção.

5. CONCLUSÃO

5.1 A Pista apresenta todos os seus terços com a profundidade média da macrotextura acima de 0,60 mm em concordância com a RBAC nº 153 Emenda nº 01, Parágrafo 153.205 (h) , da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (14 de junho de 2016). A classificação da macrotextura segundo a altura da Mancha de Areia (Tabela 153.205-7) enquadra-se como de Média á Muito Aberta.

6. REFERÊNCIAS

Para realização da medição foram seguidas as normas abaixo indicadas:

- 6.1 RBAC nº 153 Emenda nº 01 Parágrafo 153.205 (h), de 14 de Junho de 2016 da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC;
 6.2 Resolução Nº 235, de 5 de junho de 2012 da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC;

7. RESPONSÁVEIS

Daniel Balbino
Responsável pela execução do ensaio

Anderson do Valle Abrahão
Responsável pelo Relatório Técnico

8. CIENTES

Josmarcio de Brito Alves
Gerente de Operações do Aeroporto

Kleber Maciel da Cunha Faria
Gerente de Manutenção e Obras

Visto do responsável pela execução do ensaio:

Visto do responsável pelo Relatório

Página

4

**ANEXO B – EXEMPLO DE RELATÓRIO DE COEFICIENTE DE ATRITO
FORNECIDO PELA ANAC**



MEDIÇÃO DE ATRITO

**INFRAMERICA - AEROPORTO INTERNACIONAL DE
BRASÍLIA – PRESIDENTE JUCELINO KUBISTSCHEK**

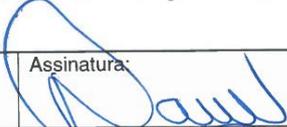
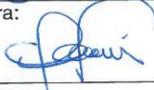
SBBR

PISTA DE POUSO E DECOLAGEM 11L/29R

Brasília - DF, 15 de Março de 2018

Relatório Técnico Nº: 01/18-SBBR_11L

Data de medição: 14/03/2018

| | | |
|---------------------|---|--|
| Data: 15/03/2018 | Responsável pela execução do ensaio: Daniel Balbino CREA: 11196/TD-DF | Assinatura:  |
| Data: 15/03/2018 | Responsável técnico pelo Relatório: Clayton de Andrade Ferreira CREA: MG0000111824D | Assinatura:  |
| Data: 15/03/2018 | Responsável técnico pelo Relatório: Anderson do Valle Abrahão CREA: 12237/D-DF | Assinatura:  |


RELATÓRIO TÉCNICO Nº: 01/18-SBBR_11L
1. MOTIVAÇÃO DO ENSAIO

1.1 Necessidade de manter atualizadas as informações relacionadas com as condições operacionais que afetam a resistência à frenagem na superfície do pavimento.

2. INFORMAÇÕES GERAIS

2.1 Letra do código da maior aeronave em operação.

A B C D E F

2.2 Classificação do pavimento.

Flexível Rígido Outro (especificar) _____

2.3 Comprimento e largura da pista de pouso e decolagem.

Comprimento: 3200 metros. Largura: 45 metros.

2.4 Tratamento superficial do pavimento do tipo ranhuras transversais (grooving).

Não

Sim

Com Tratamento (Grooving) na extensão de 2100 metros e largura de 30 metros.

2.5 Comprimento de pista medido.

2900 metros.

2.6 Distância do ponto de início da medição em relação ao início da sinalização horizontal da cabeceira (após atingir velocidade de ensaio).

150 metros da cabeceira 11L.

2.7 Equipamento utilizado.

Mμ-meter *Skiddometer* *Tatra* *Grip Tester*

Surface friction testes vehicle *Runway friction tester vehicle*

2.8 Velocidade de execução da medição de atrito.

65 km/h 95 km/h.

2.9 Fabricante do equipamento.

Douglas

2.10 Temperatura durante a medição de atrito.

28°. (Vinte e Oito Graus Celsius)

2.11 Umidade relativa do ar.

77% (Setenta e Sete por Cento)

2.12 Condição do tempo durante a medição.

Nublado Ensolarado Outros: Bom

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório

**RELATÓRIO TÉCNICO Nº: 01/18-SBBR_11L**

2.13 Data da última remoção de borracha da pista.

21/12/2017

2.14 Horário de início da medição.

13:30

2.15 Horário de término da medição.

14:50

2.16 Espessura da banda de rodagem do pneu utilizado no equipamento (TWI-TreadWearIndicator).

3,0 mm

2.17 Data da última calibração do equipamento.

14/03/2018

2.18 Próxima medição de atrito (data provável).

22/06/2018

2.19 Pousos diários:

82 Pousos na cabeceira 11L (Cabeceira Predominante) de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato.

2.20 Observações:

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório


RELATÓRIO TÉCNICO Nº: 01/18-SBBR_11L
3. RESULTADOS – VALORES E ATRITO

| | | 29R | | | | (*) início da medição pela cabeceira predominante | | | | | |
|------|---------------------------|----------|------|----------|--------------------------|---|------|----------|-------|--|--|
| ↑ | Esquerda do eixo da pista | | | | Direita do eixo da pista | | | | ↑ (*) | | |
| | 6m | | 3m | | 3m | | 6m | | | | |
| | μ | V (Km/h) | μ | V (Km/h) | μ | V (Km/h) | μ | V (Km/h) | | | |
| 2900 | 0,74 | 63,73 | 0,68 | 63,97 | 0,67 | 63,95 | 0,83 | 64,39 | 2900 | | |
| 2800 | 0,76 | 64,24 | 0,69 | 64,44 | 0,75 | 63,35 | 0,82 | 64,63 | 2800 | | |
| 2700 | 0,76 | 64,54 | 0,67 | 64,88 | 0,69 | 64,10 | 0,81 | 63,36 | 2700 | | |
| 2600 | 0,70 | 64,85 | 0,66 | 64,59 | 0,64 | 64,95 | 0,75 | 63,55 | 2600 | | |
| 2500 | 0,70 | 64,62 | 0,68 | 64,32 | 0,66 | 65,17 | 0,69 | 64,92 | 2500 | | |
| 2400 | 0,75 | 64,51 | 0,68 | 64,37 | 0,65 | 64,88 | 0,70 | 65,30 | 2400 | | |
| 2300 | 0,76 | 64,22 | 0,71 | 64,84 | 0,71 | 64,91 | 0,75 | 65,29 | 2300 | | |
| 2200 | 0,78 | 63,75 | 0,74 | 64,52 | 0,74 | 65,56 | 0,79 | 65,48 | 2200 | | |
| 2100 | 0,73 | 63,19 | 0,74 | 63,94 | 0,68 | 65,43 | 0,76 | 65,14 | 2100 | | |
| 2000 | 0,74 | 63,61 | 0,71 | 63,56 | 0,64 | 65,44 | 0,75 | 64,67 | 2000 | | |
| 1900 | 0,74 | 64,82 | 0,72 | 63,60 | 0,68 | 65,30 | 0,68 | 63,52 | 1900 | | |
| 1800 | 0,63 | 65,26 | 0,64 | 64,09 | 0,61 | 64,94 | 0,71 | 63,62 | 1800 | | |
| 1700 | 0,62 | 64,39 | 0,64 | 65,26 | 0,60 | 64,09 | 0,73 | 63,82 | 1700 | | |
| 1600 | 0,68 | 63,62 | 0,65 | 64,49 | 0,61 | 63,78 | 0,74 | 63,39 | 1600 | | |
| 1500 | 0,73 | 63,48 | 0,67 | 63,49 | 0,63 | 63,74 | 0,74 | 63,52 | 1500 | | |
| 1400 | 0,72 | 63,04 | 0,68 | 63,59 | 0,62 | 63,76 | 0,74 | 63,60 | 1400 | | |
| 1300 | 0,69 | 64,23 | 0,69 | 63,94 | 0,65 | 63,31 | 0,75 | 63,88 | 1300 | | |
| 1200 | 0,59 | 64,39 | 0,65 | 63,66 | 0,67 | 63,67 | 0,79 | 63,55 | 1200 | | |
| 1100 | 0,63 | 63,11 | 0,66 | 62,92 | 0,68 | 64,12 | 0,77 | 63,69 | 1100 | | |
| 1000 | 0,68 | 62,99 | 0,69 | 62,73 | 0,67 | 64,80 | 0,77 | 64,20 | 1000 | | |
| 900 | 0,69 | 63,49 | 0,68 | 63,61 | 0,63 | 64,72 | 0,77 | 64,15 | 900 | | |
| 800 | 0,65 | 64,16 | 0,64 | 63,65 | 0,59 | 64,59 | 0,74 | 64,97 | 800 | | |
| 700 | 0,62 | 64,50 | 0,58 | 63,67 | 0,53 | 64,10 | 0,66 | 65,24 | 700 | | |
| 600 | 0,63 | 64,69 | 0,56 | 63,36 | 0,54 | 64,27 | 0,70 | 64,83 | 600 | | |
| 500 | 0,64 | 65,39 | 0,54 | 62,89 | 0,53 | 65,16 | 0,65 | 64,68 | 500 | | |
| 400 | 0,66 | 65,34 | 0,57 | 61,78 | 0,51 | 64,86 | 0,66 | 64,05 | 400 | | |
| 300 | 0,72 | 63,96 | 0,61 | 63,89 | 0,61 | 64,05 | 0,75 | 63,76 | 300 | | |
| 200 | 0,80 | 65,24 | 0,68 | 65,33 | 0,70 | 64,02 | 0,79 | 64,51 | 200 | | |
| 100 | 0,77 | 65,26 | 0,69 | 65,37 | 0,69 | 63,43 | 0,76 | 64,21 | 100 | | |

LEGENDA:

- Valor abaixo do nível mínimo. (Menor que 0,42)
- Valor entre nível mínimo e nível de manutenção. (Entre 0,42 e 0,52)
- Valor acima do nível de manutenção.
- A Pista em questão não contém esta faixa.

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório


RELATÓRIO TÉCNICO Nº: 01/18-SBBR_11L
4. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS
CALIBRAÇÃO DO EQUIPAMENTO MEDIDOR DE ATRITO

Mu Meter Mk6 Calibration Sheet

Serial Numbers

| | |
|----------------------|------------|
| Mu Meter | DE0000 |
| Central Control Unit | CU0000 |
| Load Cell | LC6913 |
| Shaft Encoder | SE0802 |
| Friction Tyre Type: | ASTM E1551 |

| Calibration | Date Conducted | Operator | Calibrated Value | Status |
|----------------------|----------------|----------------|------------------|------------|
| Load Cell Zero | 14/03/2018 | Daniel Balbino | -395 | Calibrated |
| Board Test | 03/01/2018 | Daniel Balbino | 2613 | Calibrated |
| Distance Measurement | 22/12/2017 | Daniel Balbino | 405.5 | Calibrated |

Additional Notes:**Signed:**

DOUGLAS EQUIPMENT LIMITED
Tel: +44 (0) 1242 527 921
Email: SED@douglas-tugmaster.co.uk

Page 1 of 1

Date Printed: 14/03/2018 13:56:36

Visto do responsável pela execução do ensaio

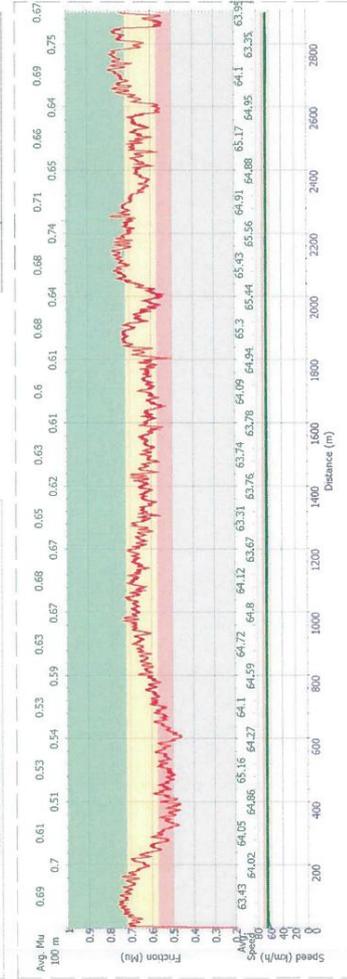
Visto do responsável pelo Relatório



SENTIDO: 11L → 29R – 3 METROS A DIREITA

MuMeter Run Report
AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASIA
RUNWAY 11-29

| Calibration Results | | Average Mu | | Total | |
|---------------------|--|------------|-------|--------------------|---------------------|
| Zero Reference | 14/03/2018 13:56:32 | -395 | | 3/3 | 0.64 |
| Distance | 22/12/2017 13:37:44 | 406 | | 2/3 | 0.64 |
| Board Test | 03/01/2018 10:58:40 | 2613 | | 0.6 | 0.64 |
| Type | ASTM E1151 | ID: | | | |
| Weather Condition | Fine | Run1 | 11:29 | Run Start: | 14/03/2018 14:00:52 |
| Air Temperature | 28 | | | Auto. End Distance | On |
| Operator Notes | SENTIDO 11L/29R - 3 METROS A DIREITA - UMIDADE RELATIVA DO AR 77%. | | | Distance Travelled | 2901 meters |
| | | | | Average Speed | 64.4 km/h |
| | | | | Location | m |
| | | | | | m |
| | | | | | m |
| | | | | Event Note | |



14/03/2018 14:17:16 Page 1 of 1

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório



SENTIDO: 11L → 29R - 3 METROS A ESQUERDA

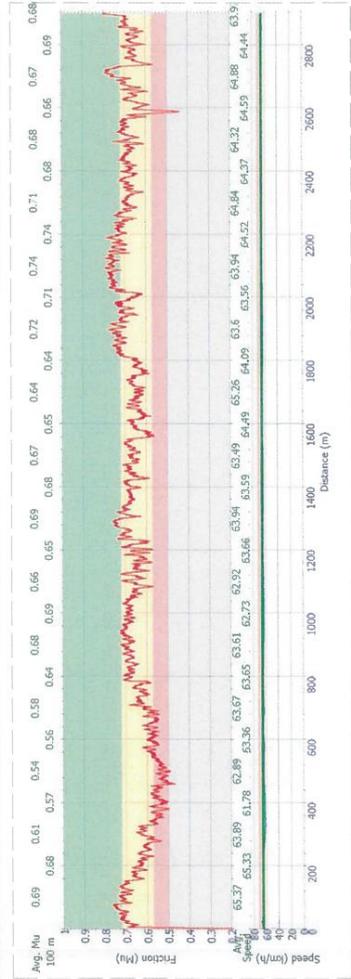
MuMeter Run Report
AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASIA
RUNWAY 11-29

| | | | |
|-----------------------|--|---------------------|--|
| Run Start: | | 14/03/2018 14:10:50 | |
| Auto. End Distance On | | 2901 meters | |
| Distance Travelled | | 64. | |
| Average Speed | | 64. km/h | |
| Location | | Event Note | |
| m | | | |
| m | | | |
| m | | | |

| | | | | |
|------------|-------|------|------|-------|
| Average Mu | 1/3 | 2/3 | 3/3 | Total |
| Run1 | 11-29 | 0.62 | 0.67 | 0.7 |
| | | | | 0.66 |

| | |
|---------------------|--------------------------|
| Calibration Results | |
| Zero Reference | 14/03/2018 13:56:32 -395 |
| Distance | 22/12/2017 13:37:44 406 |
| Board Test | 03/01/2018 10:58:40 2613 |
| Type Type | ASTM E1151 ID: |

| | |
|-------------------|---|
| Weather Condition | Fine |
| Air Temperature | 28 |
| Operator Notes | SENTIDO 11L/29R - 3 METROS A ESQUERDA - UMIDADE RELATIVA DO AR 77%. |



14/03/2018 14:17:39 Page 1 of 1

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório

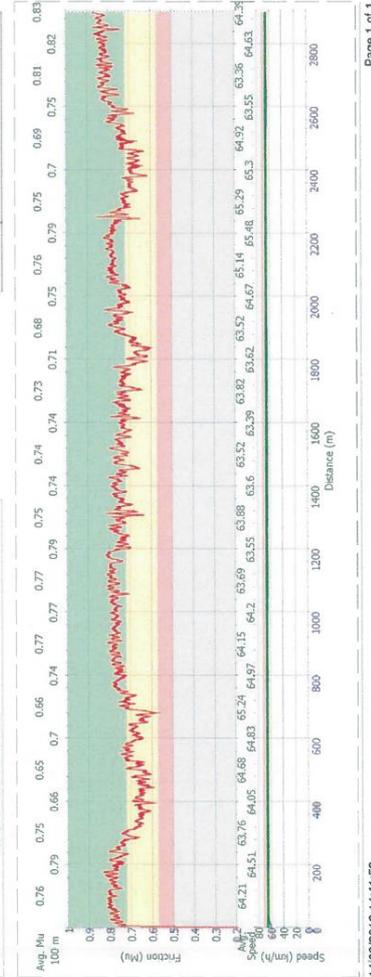


SENTIDO: 11L→29R – 6 METROS A DIREITA

MuMeter Run Report
AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASI
RUNWAY 11-29

| | | | | |
|---------------------|--|--------------------------------|--------------------|-------------|
| Calibration Results | | Run Start: 14/03/2018 14:27:11 | | |
| Zero Reference | 14/03/2018 13:56:32 | -395 | Aut. End Distance | On |
| Distance | 22/12/2017 13:37:44 | 406 | Distance Travelled | 2801 meters |
| Board Test | 03/01/2018 10:58:40 | 2613 | Average Speed | 64.3 km/h |
| Type | ASTM E1551 | ID: | Location | |
| Weather Condition | Fine | Event Note | | |
| Air Temperature | 28 | m | | |
| Operator Notes | SENTIDO 11L/29R - 6 METROS A DIREITA - UMIDADE RELATIVA DO AR 77%. | m | | |
| | | m | | |

| | | | | |
|------------|-------|------|------|-------|
| Average Mu | 1/3 | 2/3 | 3/3 | Total |
| Run:1 | 11-29 | 0.73 | 0.74 | 0.77 |
| | | | | 0.74 |



Page 1 of 1

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório



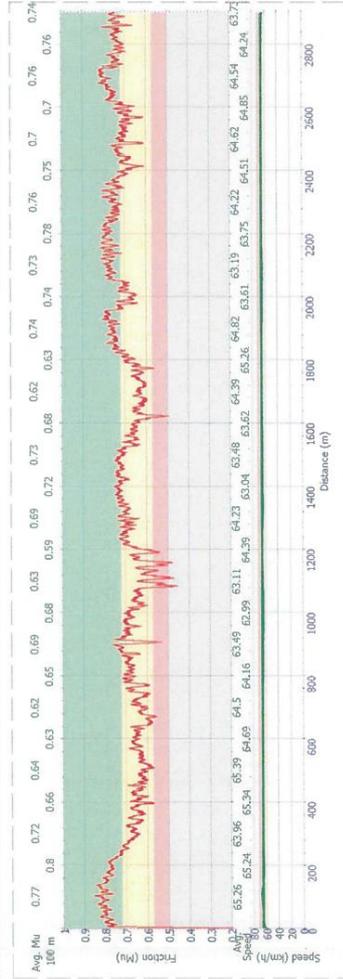
RELATÓRIO TÉCNICO Nº: 01/18-SBBR_11L

SENTIDO: 11L → 29R – 6 METROS A ESQUERDA

MuMeter Run Report
AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍ
RUNWAY 11-29

| | | | | | | |
|---------------------|---------------------|------------|-------|------|------|-------|
| Calibration Results | | Average Mu | 1/3 | 2/3 | 3/3 | Total |
| Zero Reference | 14/03/2018 13:56:32 | Run:1 | 11:29 | 0.69 | 0.67 | 0.7 |
| Distance | 22/12/2017 13:37:44 | | | | | |
| Board Test | 03/01/2018 10:58:40 | | | | | |
| Type | ASTM E1551 | | | | | |
| ID: | | | | | | |

| | | | |
|-------------------|--|----------|------------|
| Weather Condition | Fine | Location | Event Note |
| Air Temperature | 28 | m | |
| Operator Notes | SENTIDO 11L/29R - 6 METROS A ESQUERDA - UMIDADE RELATIVA DO AR 77% | m | |
| | | m | |



14/03/2018 16:47:05 Page 1 of 1

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório



RELATÓRIO TÉCNICO Nº: 01/18-SBBR_11L

Pela análise dos índices de atrito conforme RBAC Nº 153 Emenda nº01, Parágrafo 153.205 (g), a PPD 11L/29R apresenta valores dos coeficientes de atrito acima do nível mínimo (0,42 conforme tabela 153.205-3 – Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição).

5. CONCLUSÃO

A PPD 11L/29R **POSSUI** o nível de atrito dentro dos coeficientes requerido pela RBAC Nº 153 Emenda Nº 01, Parágrafo 153.205 (g) da ANAC.

Após a análise dos coeficientes de atrito a PPD 11L/29R foi considerada como **Segura e Supervisionada**.

6. REFERÊNCIAS

6.1 RBAC nº 153 Emenda nº 01, Parágrafo 153.205 (g), da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (14 de junho de 2016).

6.2 Resolução nº 235, da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (05 de junho de 2012).

6.3 Resolução nº 88, da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (11 de maio de 2009).

7. RESPONSÁVEIS

Daniel Balbino

CREA: 11196/TD-DF

Responsável pela execução do ensaio

Anderson do Valle Abrahão

CREA: 12237/D-DF

Responsável pelo Relatório Técnico

Clayton de Andrade Ferreira

CREA: MG0000111824D

Responsável pelo Relatório Técnico

Visto do responsável pela execução do ensaio

Visto do responsável pelo Relatório